



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



ANA MARIA SEVERO CHAVES

**DINÂMICA GEOECOLÓGICA E CENÁRIOS POTENCIAIS PARA  
CONSERVAÇÃO DA PAISAGEM SEMIÁRIDA NA BACIA DO RIACHO SÃO JOSÉ  
EM PERNAMBUCO**

Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos  
São Cristóvão-SE  
2021

ANA MARIA SEVERO CHAVES

**DINÂMICA GEOECOLÓGICA E CENÁRIOS POTENCIAIS PARA  
CONSERVAÇÃO DA PAISAGEM SEMIÁRIDA NA BACIA DO RIACHO SÃO JOSÉ  
EM PERNAMBUCO**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia-PPGEO da Universidade Federal de Sergipe-UFS, como requisito obrigatório para obtenção de título de Doutora em Geografia, na Área de Concentração Produção do Espaço Agrário e Dinâmicas Territoriais e Linha de Pesquisa Dinâmica Ambiental.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Rosemeri Melo & Souza.

Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos  
São Cristóvão-SE  
2021

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

C512d Chaves, Ana Maria Severo  
Dinâmica geoecológica e cenários potenciais para conservação da paisagem semiárida na bacia do riacho São José em Pernambuco / Ana Maria Severo Chaves; orientadora Rosemeri Melo e Souza. – São Cristóvão, SE, 2021.  
353 f. : il.

Tese (doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Sergipe, 2021.

1. Geografia. 2. Paisagens – Proteção – Modelos matemáticos. 3. Ecologia paisagística. 4. Fitogeografia. 5. Política ambiental. 6. Regiões áridas – Pernambuco. I. Souza, Rosemeri Melo e, orient. II. Título.

CDU 911.3:502.14(813.4)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



ANA MARIA SEVERO CHAVES

**DINÂMICA GEOECOLÓGICA E CENÁRIOS POTENCIAIS PARA  
CONSERVAÇÃO DA PAISAGEM SEMIÁRIDA NA BACIA DO RIACHO SÃO JOSÉ  
EM PERNAMBUCO**

Tese submetida ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Sergipe, na área de concentração produção do espaço agrário e dinâmicas territoriais e linha de pesquisa dinâmica ambiental.

Aprovada em 16 de março de 2021.

Banca examinadora:

---

Dr<sup>a</sup>. Rosemeri Melo & Souza – PPGeo / PRODEMA e DEAM / UFS

---

Dr<sup>a</sup>. Josefa Eliane Santana de Siqueira Pinto - PPGeo e DGE / UFS

---

Dr. Jailton de Jesus Costa - CODAP e PRODEMA / UFS

---

Dr<sup>a</sup>. Karla Maria Silva de Faria - PPGeo e CIAMB / UFG

---

Dr. Diógenes Félix da Silva Costa – GEOCERES e PPGE / UFRN e PPGEC / UEPB

Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos  
São Cristóvão-SE  
2021



*Dedico a minha rainha e mãe em seu infinito amor, a minha linda e doce vizinha, a minhas irmãs, irmãos e amigos que são apoio, torcida e carinho incondicional, amo todos infinitamente...*

## AGRADECIMENTOS

A pesquisa acadêmica representa duas construções mútuas: o desenrolar de uma tese e a afirmação de um pesquisador diante do cenário científico. Essas construções compreendem complexos processos, pois pesquisar e escrever não são tarefas fáceis, requer mais do que a capacidade física de um indivíduo, as condições psíquicas precisam estar em harmonia entre a leitura, reflexão e escrita.

Nesse sentido, a presente tese reflete minha construção enquanto pesquisadora, a qual é marcada por minha fé enquanto cristã e meu desejo e amor por desenvolver pesquisas enquanto cientista. Assim, meus primeiros agradecimentos são para Deus, pois sei que ele me guiar e proteger para além de minha compreensão humana de vida.

De modo carinhoso sou grata pelo acolhimento e companhia dos membros do Grupo de Estudos do Vale do São José, em especial Alexandre Vieira, Gisele Teixeira, Inayara Silva e Evandro Santos, pessoas essenciais no desenvolvimento da tese e companhia nas atividades de campo entre serras e vales do Agreste Pernambucano.

*In memoriam* agradeço a profa. Dr<sup>a</sup> Maria Betânia Moreira Amador, pessoa que me inseriu no mundo da pesquisa acadêmica, de forma embrionária em iniciações científicas que se desdobraram em extensão universitária, incentivadora primeira para seguir na academia. Ainda fruto de minha graduação sou grata a Universidade de Pernambuco e a todos que me incentivaram a seguir na jornada acadêmica e permitiram o desenvolvimento de amizades recíprocas, assim em nome de Renner, Diego, Vanessa, Josenildo, Jacqueline, Islany e Carlos Antônio (*in memoriam*) e aos professores Clélio Santos e Genovan Moraes, agradeço a todos!

Agradecimento especial faço a minha querida orientadora profa. Dra. Rosemeri Melo e Souza, a qual me acolheu para a realização do mestrado e agora orientou com maestria a construção da presente tese, construindo juntas seis anos de amizade e pesquisa científica. Também agradecimento especial é feito ao Grupo de Pesquisa em Geoecologia e Planejamento Territorial, pelo acolhimento de seus membros e o compartilhamento de conhecimentos e experiências, em especial Felipe Pessoa, Douglas Gois, Eline Santos e Wandson Araújo.

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Geografia-PPGEO/UFS pelo acolhimento e aos que dele fazem parte na construção de uma pós-graduação de qualidade de prestígio, assim, em nome da coordenadora Ana Rocha e do Secretário Jobson Serra agradeço a todos que direto e indiretamente integram o PPGEO.

É importante agradecer ao órgão de fomento que me possibilitou dedicação exclusiva a pesquisa, pois, o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Agradeço a colaboração entre o Programa de Pós-graduação em Geografia/UFS e o Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro de Ensino Superior do Seridó da Universidade Federal do Rio Grande do Norte no desenvolvimento de atividades colaborativas, na modalidade de estágio doutoral sanduíche, somando experiências em minha jornada.

Sou grata a cada um que, direta e indiretamente, esteve comigo nessa jornada: aos colegas da pós-graduação, em especial as amigas Michele Silva, Edilsa Santos e Sheylla Nascimento, pois trilhamos juntas desde o mestrado e agora no doutorado; as contribuições dos professores das disciplinas cursadas e aos que deram delineamentos e contribuições diretas no processo de qualificação e agora me acompanha na defesa. Obrigada profa. Dra. Josefa Eliane Pinto, prof. Dr. Jailton Costa, prof. Dr. Diógenes Costa, profa. Dra. Karla Faria, profa. Dra. Gicélia Silva e profa. Dra. Anézia Barbosa.

Por fim, agradeço a minhas pessoas, bases e luzes de minha vida: minha mãe Maria Lucineide, avó Izabel e pai Adilson; irmãs Marina, Maria Izabel e Isabele; irmãos Adalto, Adelvando, José Aroldo, Henrique e Marcos. Em especial a meus amigos Elaynne França, Wanessa Lima, Jane Pimentel, Jadiane Severo, Rosangela Figueiredo, Thamires Gomes, Darla Juliana, Welington Leal, Jadiel Djone, Pedro Ximendes e Jeovanes Lisboa. Pessoas que me acompanham de perto e me fortalecem nesse caminhar.

***A todos que fazem parte desse caminhar, Obrigada!!!***

*“Seria sempre muito bom que os políticos se submetessem a um teste sobre a dinâmica e tendências que incidem [...], tendo em vista os cenários incertos do porvir do planeta, da vida e da humanidade”.*  
(Aziz Ab’Sáber, 2006, p. 84)

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Estrutura organizacional da tese.....	30
Figura 02: Enquadramento da bacia do Riacho São José na bacia do Rio Cordeiro e bacia do Rio Ipanema-PE/AL.....	76
Figura 03: Processos metodológicos para delimitação de bacia hidrográfica no ArcGIS.....	82
Figura 04: Modelo típico de pirâmide de vegetação.....	99
Figura 05: Mapa de localização da bacia do Riacho São José-PE.....	127
Figura 06: Climograma da bacia do Riacho São José-PE.....	132
Figura 07: Mapa da espacialização das variáveis climáticas da bacia do Riacho São José-PE.....	134
Figura 08: Balanço hídrico normal mensal da área da Bacia do riacho São José-PE.....	135
Figura 09: Saldo das condições hídricas da área da Bacia do riacho São José-PE.....	136
Figura 10: Extrato do balanço hídrico normal mensal da Bacia do riacho São José-PE.....	137
Figura 11: Relação entre a capacidade de armazenamento e o armazenamento mensal da Bacia do riacho São José-PE.....	137
Figura 12: Mapa da variação espacial e temporal da temperatura da superfície da bacia do Riacho São José-PE.....	139
Figura 13: Mapa geológico da bacia do Riacho São José-PE.....	143
Figura 14: Leito do Riacho São José no vale do médio curso da bacia.....	144
Figura 15: Mapa pedológico da bacia do Riacho São José-PE.....	146
Figura 16: Mapa geomorfológico da bacia do Riacho São José-PE.....	149
Figura 17: Relevo com feições de serras e vales.....	150
Figura 18: Relevo com feições planas.....	150
Figura 19: Mapa de declividade da bacia do Riacho São José-PE.....	152
Figura 20: Mapa da hierarquia fluvial da bacia do Riacho São José-PE.....	154
Figura 21: Poço artesiano construído no leito do Riacho São José-PE.....	156
Figura 22: Encosta escarpada do embasamento cristalino com presença de talús ao longo do curso d'água.....	157
Figura 23: Área de pedimento decorrente de processos erosivos com presença de talús na front das encostas do médio para o baixo curso da bacia do riacho São José.....	159
Figura 24: Mapa da variação altimétrica da bacia do Riacho São José-PE.....	161
Figura 25: Perfil longitudinal do Riacho São José-PE.....	162
Figura 26: Mapa da cobertura vegetal da bacia do Riacho São José-PE.....	163

Figura 27: Composição florística de caatinga lenhosa formando diferentes estratos.....	165
Figura 28: Composição florística de caatinga arbustiva.....	165
Figura 29: Fundo e vale do Riacho São José no formato “U”.....	166
Figura 30: Fisionomias da vegetação na bacia do Riacho São José-PE.....	172
Figura 31: Fitofisionomias rupestres na bacia do Riacho São José-PE.....	173
Figura 32: Mapa da variação espaço-temporal do índice de vegetação pela diferença normalizada na bacia do Riacho São José-PE.....	175
Figura 33: Variação do índice de vegetação pela diferença normalizada na bacia do Riacho São José-PE.....	176
Figura 34: Extração de madeira no baixo curso do Riacho São José-PE.....	179
Figura 35: Usos da madeira da caatinga na bacia do Riacho São José-PE.....	180
Figura 36: Vegetação herbácea na bacia do Riacho São José-PE.....	180
Figura 37: Mapa de localização das pirâmides de vegetação na bacia do Riacho São José-PE.....	182
Figura 38: Relação quantitativa das espécies vegetais por famílias.....	184
Figura 39: Pirâmide de vegetação 01.....	187
Figura 40: Pirâmide de vegetação 02.....	188
Figura 41: Solo exposto e processos erosivos na pirâmide 01 (a) e na pirâmide 02.....	189
Figura 42: Pirâmide de vegetação 03.....	190
Figura 43: Pirâmide de vegetação 04.....	192
Figura 44: Diagrama de distribuição das espécies em relação ao número dos indivíduos representativos.....	197
Figura 45: Diagramas de curvas de dominância por amostra.....	198
Figura 46: Variáveis ambientais que caracterizam a dispersão das medidas de diversidade para a bacia do Riacho São José-PE.....	201
Figura 47: Diagrama de correlação das medidas de diversidade da Bacia do Riacho São José-PE.....	206
Figura 48: Mapa de delimitação política da bacia do Riacho São José-PE.....	212
Figura 49: Mapa de setores censitários da bacia do Riacho São José-PE.....	213
Figura 50: Área abandonada devido à presença de torres eólicas.....	214
Figura 51: Casa de taipa abandonada.....	216
Figura 52: Estrada em feições de serras no acesso entre o médio e baixo curso da bacia do Riacho São José-PE.....	217

Figura 53: Mapa da cobertura da terra na bacia do Riacho São José-PE.....	219
Figura 54: Registros de áreas de vegetação natural no médio curso da bacia do Riacho São José-PE.....	220
Figura 55: Registro de desmatamento e queimada na bacia do Riacho São José-PE.....	222
Figura 56: Exemplos de usos comuns da cobertura agrícola da bacia do Riacho São José-PE.....	223
Figura 57: Áreas de afloramento rochoso na bacia do Riacho São José-PE.....	224
Figura 58: Cobertura da terra para o ano de 1985.....	227
Figura 59: Cobertura da terra para o ano de 1995.....	228
Figura 60: Cobertura da terra para o ano de 2005.....	229
Figura 61: Cobertura da terra para o ano de 2015.....	229
Figura 62: Reservatórios de água na bacia do Riacho São José-PE.....	230
Figura 63: Reservatório antigo na bacia do Riacho São José-PE.....	230
Figura 64: Reservatórios de água em marmitas de dissolução na bacia do Riacho São José-PE.....	231
Figura 65: Cachoeiras formadas em áreas escarpadas de afloramento de rochas cristalinas no médio curso da bacia do Riacho São José-PE.....	232
Figura 66: Parques eólicos instalados no médio curso da bacia do Riacho São José-PE.....	234
Figura 67: Parques eólicos instalados no alto curso da bacia do Riacho São José-PE.....	234
Figura 68: Mapa do sistema territorial da bacia do Riacho São José em Pernambuco.....	235
Figura 69: Registros de figuras rupestres na bacia do Riacho de São José em Pernambuco.....	237
Figura 70: Quantificação dos Serviços Ecossistêmicos Identificados na Bacia do Riacho São José-PE.....	138
Figura 71: Relação das classes de cobertura da terra e a prestação de serviços ecossistêmicos.....	239
Figura 72: Relação dos serviços ecossistêmicos prestados em área de vegetação natural.....	240
Figura 73: Espécie <i>Neoglasiovia variegata</i> (caroá) da família das Bromeliaceae utilizada no processamento de materiais, a exemplo de cordas.....	242
Figura 74: Exemplo de uso dos serviços prestados pelos ecossistemas da caatinga.....	242
Figura 75: O florescer de espécies da caatinga na bacia do Riacho São José-PE.....	244
Figura 76: Trilha realizada na bacia do Riacho de São José-PE.....	245
Figura 77: Pôr do sol contemplado da parte alta da bacia do Riacho de São José-PE.....	246
Figura 78: Relação dos serviços ecossistêmicos prestado em áreas antrópicas agrícolas.....	247

Figura 79: Relação dos serviços ecossistêmicos prestados em outras áreas não identificadas e em ambiente aquático.....	248
Figura 80: Aspectos da geodiversidade da bacia do Riacho São José-PE.....	248
Figura 81: Quantificação dos impactos associados a prestação de serviços ecossistêmicos por classe de cobertura da terra na bacia do Riacho São José-PE.....	250
Figura 82: Mapa da compartimentação geoecológica da bacia do Riacho São José-PE.....	254
Figura 83: Plantação de palma forrageira ( <i>Opuntia cochenillifera</i> / Cactaceae) na bacia do Riacho São José-PE.....	257
Figura 84: Área com gramíneas utilizadas como pastagem degradada na unidade geoecológica 01.....	257
Figura 85: Vestígios de desmatamento na unidade geoecológica 01.....	258
Figura 86: Reduto de vegetação de brejo de altitude na unidade geoecológica 01.....	259
Figura 87: Paisagem panorâmica de parte da unidade geoecológica 02.....	259
Figura 88: Caatinga arbórea e arbustiva na unidade geoecológica 03.....	260
Figura 89: Processos erosivos nas unidades geoecológicas.....	261
Figura 90: Área de assoreamento de curso hídrico a montante do barramento na unidade geoecológica 02.....	261
Figura 91: Descarte irregular de resíduos sólidos na cabeceira do vale da bacia do Riacho São José na unidade geoecológica 01.....	262
Figura 92: Influência da precipitação na adaptação fenológica da vegetação caatinga na unidade geoecológica 02.....	262
Figura 93: Mapa de localização dos perfis geoecológicos traçados na bacia do Riacho São José-PE.....	264
Figura 94: Perfil geoecológicos (01) sobre unidade da paisagem de terras altas.....	265
Figura 95: Área agrícola a esquerda e vegetação de brejo de altitude a direita.....	266
Figura 96: Perfil geoecológico (02) sobre unidade da paisagem de serras, vales e escarpas.....	266
Figura 97: Trecho do leito fluvial do Riacho São José com afloramento rochoso e mata ciliar.....	268
Figura 98: Perfil geoecológico (03) sobre unidade da paisagem terras baixas.....	268
Figura 99: Trecho arenoso de leito fluvial com mata de galeria predominando a espécie <i>Prosopis juliflora</i> .....	269
Figura 100: Perfil geoecológico longitudinal da bacia do Riacho São José-PE.....	271
Figura 101: Mapeamento da adequabilidade geoecológica na bacia do Riacho São José-PE..	273



Figura 102: Mapa de áreas de preservação permanente na bacia do Riacho São José-PE.....	277
Figura 103: Mapas de adequação terrestre a áreas de vegetação natural.....	279
Figura 104: Mapas de adequação terrestre a áreas antrópicas agrícolas.....	280
Figura 105: Conjunto de cenários projetivos da evolução da cobertura da terra para a bacia do Riacho São José-PE (2015 a 2035).....	284
Figura 106: Quantificação das classes de cobertura da terra dos cenários projetivos.....	285
Figura 107: Conjunto de cenários conservacionistas 01 da evolução da cobertura da terra para a bacia do Riacho São José-PE (2015 a 2035).....	287
Figura 108: Quantificação das classes de cobertura da terra dos cenários conservacionistas - conjunto 01.....	188
Figura 109: Conjunto de cenários conservacionistas 02 da evolução da cobertura da terra para a bacia do Riacho São José-PE (2015 a 2035).....	190
Figura 110: Quantificação das classes de cobertura da terra dos cenários conservacionistas - conjunto 02.....	191
Figura 111: Cenário 2035a do conjunto conservacionistas 02 onde ocorre a recomposição da cobertura vegetal para todas as áreas de preservação permanentes dos cursos hídricos.....	293
Figura 112: Sugestão de Planejamento Ambiental Conservacionista para a Bacia do Riacho São José-PE.....	296
Figura 113: Conjuntos de cenários projetados a partir dos mapas de adequação.....	340

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Níveis da pesquisa.....	73
Quadro 02: Síntese das informações contidas nos bancos de dados da tese.....	80
Quadro 03: Estações meteorológicas utilizadas na estimativa do balanço hídrico da bacia do Riacho São José.....	83
Quadro 04: Percentual de abundância-dominância e sociabilidade da vegetação.....	98
Quadro 05: Altura dos diferentes estratos vegetais.....	95
Quadro 06: Classificação da cobertura e uso da terra.....	103
Quadro 07: Exemplo dos níveis de identificação dos serviços ecossistêmicos.....	105
Quadro 08: Critérios para análise do estado geoecológico da paisagem.....	114
Quadro 09: Componentes paisagísticos dos perfis geoecológicos.....	115
Quadro 10: Procedimentos e fatores para elaboração dos cenários.....	119
Quadro 11: Descrição da localização das pirâmides de vegetação do Riacho São José-PE.....	183
Quadro 12: Ficha biogeográfica 01.....	187
Quadro 13: Ficha biogeográfica 02.....	188
Quadro 14: Ficha biogeográfica 03.....	190
Quadro 15: Ficha biogeográfica 04.....	192
Quadro 16: Códigos para os serviços ecossistêmicos em áreas de vegetação natural.....	335
Quadro 17: Códigos para os serviços ecossistêmicos em áreas de antrópicas agrícolas.....	336
Quadro 18: Códigos para os serviços ecossistêmicos em outras áreas não identificada.....	338
Quadro 19: Códigos para os serviços ecossistêmicos da água.....	339
Quadro 20: Ficha biogeográfica para construção de pirâmides de vegetação.....	346
Quadro 21: Classificação internacional comum de serviços ecossistêmicos.....	348

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Características das bandas das imagens do satélite Landsat 5 e 8.....	80
Tabela 02: Matriz de confusão.....	107
Tabela 03: Avaliação da qualidade do mapa de acordo com o índice de Kappa.....	108
Tabela 04: Matriz de confusão 1985.....	111
Tabela 05: Matriz de confusão 1995.....	111
Tabela 06: Matriz de confusão 2005.....	111
Tabela 07: Matriz de confusão 2015.....	112
Tabela 08: Coeficientes de acurácia global dos mapas.....	112
Tabela 09: Variáveis para cálculo da adequabilidade geocológica.....	117
Tabela 10: Chave de classificação para os níveis de adequabilidade.....	118
Tabela 11: Variações da temperatura da superfície do mar.....	131
Tabela 12: Variabilidade e amplitude térmica da temperatura superficial da bacia do Riacho São José-PE.....	138
Tabela 13: Fenômenos atmosféricos no NEB em 1995.....	140
Tabela 14: Fenômenos atmosféricos no NEB em 2015.....	141
Tabela 15: Hierarquia fluvial da bacia do Riacho São José-PE.....	155
Tabela 16: Análise linear da bacia do Riacho São José-PE.....	156
Tabela 17: Análise areal da bacia do Riacho São José-PE.....	158
Tabela 18: Análise hipsométrica da bacia do Riacho São José-PE.....	160
Tabela 19: Quantificação do índice de vegetação pela diferença normalizada.....	177
Tabela 20: Diversificação fitogeográfica da Bacia do Riacho São José-PE.....	185
Tabela 21: Tabulação dos dados fitogeográfico e medida de diversidade baseado na riqueza específica da bacia do Riacho São José-PE.....	196
Tabela 22: Medidas de diversidade florística na Bacia do Riacho São José-PE.....	200
Tabela 23: Divisão político-administrativa da bacia do Riacho São José-PE.....	211
Tabela 24: Relação dos domicílios na Bacia do Riacho São José-PE.....	215
Tabela 25: Estimativa da população residente nos setores censitários pertencentes a bacia do Riacho São José.....	217
Tabela 26: Quantificação das classes de cobertura da terra.....	226
Tabela 27: Quantificação dos serviços ecossistêmicos identificados na bacia do Riacho São José-PE e por classe de cobertura da terra.....	238

Tabela 28: Estado ambiental da paisagem da bacia do Riacho São José-PE.....	255
Tabela 29: Quantificação da adequabilidade geoecológica da bacia do Riacho São José-PE...	272
Tabela 30: Matriz de probabilidade de transição da cobertura da terra do Riacho de São José-PE.....	181
Tabela 31: Matriz de áreas de transição da cobertura da terra da bacia do Riacho de São José-PE.....	282
Tabela 32: Quantificação das classes de cobertura da terra nos conjuntos de modelagens preditivas.....	292
Tabela 33: Planilha com coordenadas de campo para validação cartográfica.....	333
Tabela 34: Dados mensais para o balanço hídrico da bacia do Riacho São José-PE.....	342

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAA – Áreas Antrópicas Agrícolas  
CA – Autômato Celulare  
ASCII –American Standard Code for Information Interchange  
AG – Adequabilidade Geoecológica  
AGRITEMPO – Sistema de Monitoramento Agrometeorológico  
AGU – Água  
AM – Amostra  
AMJ – Abril, Maio e Junho  
APP – Áreas de Vegetação Natural  
ARM – Armazenamento Mensal  
AS – Albedo da Superfície  
AVN – Áreas de Vegetação Natural  
BD – Banco de Dado  
BRSJ – Bacia do Riacho São José  
CAD – Capacidade de Armazenamento Hídrico  
CCa – Complexo Cabrobó  
CICES – Classificação Internacional Comum de Serviços Ecossistêmicos  
CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais  
CSF – Complexo do São Francisco  
CT – Cobertura Da Terra  
D – Índice de Dominância de Simpson  
Dd – Densidade de Drenagem  
DEF – Deficiência Hídrica  
DGI – Divisão de Geração de Imagens  
DN – Número Digital  
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
E.M.I. – Energia, Matéria e Informação  
ETP – Evapotranspiração Potencial  
ETR – Evapotranspiração Real  
EXC – Excedente Hídrico  
FCie – Função Cultural de Interação espiritual

FCif – Função Cultural de Interação Física  
FCii – Função Cultural de Interação intelectual  
FCnu - Função Cultural que Têm um Valor de Não Uso  
FPe – Função de Provimento de Energia  
FPm – Função de Provimento Material  
FPma – Função de Provimento Material da Água  
FPmg – Função de Provimento de Material Genético  
FRMa – Função de Regulação e Manutenção na Composição e Condições Atmosféricas  
FRMag – Função de Regulação e Manutenção das Condições da Água  
FRMcP – Função de Regulação e Manutenção no Controle de Pragas  
FRMf – Função de Regulação e Manutenção dos Fluxos de Linha de Base  
FRMp – Função de Regulação e Manutenção por Mediação de Perturbação  
FRMr – Função de Regulação e Manutenção por Mediação de Resíduos  
FRMs – Função de Regulação e Manutenção do Solo - FRMs  
FRMv – Função de Regulação e Manutenção do Ciclo da Vida  
FPn – Função de Provimento Nutricional  
GPS – Sistema de Posicionamento Global  
H – Índice de Diversidade Shannon  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
SILP – Intrusiva Leucocrática Peraluminosa  
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia  
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
ITCG – Instituto de Terras, Cartografia e Geologia  
J – Índice de Equitabilidade/Uniformidade de Pielou  
JFM – Janeiro, Fevereiro e Março  
K – Índice Kappa  
Km – Quilômetro  
m – Metro  
mm – Milímetro  
MAT – Mapas de Adequação Terrestre  
MaxVer – Máxima Verossimilhança  
MDE – Modelo Digital de Elevação  
MJJA – Maio, Junho, Julho e Agosto

MMA – Ministério do Meio Ambiente  
N - Número de Indivíduos  
NASA – National Aeronautics and Space Administration  
NEB – Nordeste Brasileiro  
NDVI – Índice de Vegetação pela Diferença Normalizada  
NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration  
OAN – Outras Áreas  
OLI – Operational Terra Imager  
P – Precipitação  
P<sub>o</sub> – Índices de Exatidão Global  
PA – Pediplano Arenoso  
PAa – Pediplano Arenoso-argiloso  
PAg – Pediplano Argiloso  
PCB – Pediplano Central da Borborema  
PP – Positivo Positivo  
PIER – Pressão Impactos Estado e Resposta  
PIVP – Infravermelho Próximo  
PN – Positivo Negetivo  
PV – Faixa do Vermelho  
PV – Pirâmide de Vegetação  
Rb – Relação de Bifurcação  
RD – Regiões de Desenvolvimento  
RGB – Red, Green e Blue  
RL – Neossolo Litólico  
RR – Neossolo Regolítico  
Rr – Relação do Relevo  
S – Número de Espécies  
SCUT – Sistema básico de classificação da Cobertura e Uso da Terra  
SCN – Sistema Cartográfico Nacional  
SE – Serviço Ecossistêmico  
SEa – Serviço Ecossistêmico da Atmosfera  
SEag – Serviço Ecossistêmico da Água  
SEcp – Serviço Ecossistêmico de Controle de Praga

SEe – Serviço Ecossistêmico de Energia  
SEg – Serviço Ecossistêmico Genético  
SEie – Serviço Ecossistêmico de Interação Espiritual  
SEif – Serviço Ecossistêmico de Interação Física  
SEii – Serviço Ecossistêmico de Interação Intelectual  
SEm – Serviço Ecossistêmico Material  
SEn – Serviço Ecossistêmico Nutricional  
SEnu – Serviço Ecossistêmico de Valor de Não Uso  
SEp – Serviço Ecossistêmico de Perturbação  
SEf – Serviço Ecossistêmico de Fluxo de Linha de Base  
SEr – Serviço Ecossistêmico de Remediação  
SEs – Serviço Ecossistêmico do Solo  
SEv – Serviço Ecossistêmico do Ciclo da Vida  
SGB – Sistema Geodésico Brasileiro  
Shp – Shapefile  
SIG – Sistemas de Informações Geográficas  
SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas  
SRTM – Shuttle Radar Topography Mission  
SX – Planossolo Háplico  
t – Tempo  
TIFF – Tagged Image File Format  
TIRS – Thermal Infrared Sensor  
TM – Thematic Mapper  
TSM – Temperatura da Superfície do Mar  
TST – Temperatura da Superfície da Terra  
TS – Temperatura Superficial  
UC – Unidades de Conservação  
UNGEO – Unidade Geoecológica  
USGS – Serviço Geológico dos Estados Unidos  
UTM – Universal Transversa de Mercator  
VCANs – Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis  
ZAPE – Zoneamento Agroecológico de Pernambuco  
ZCIT – Zona de Convergência Intertropical



## RESUMO

O ambiente semiárido compreende o bioma Caatinga (único do Brasil) e forma feições geomorfológicas que testemunham paisagens equilibradas pelas interações estabelecidas entre os componentes geocológicos: clima, geologia, solo, relevo, hidrografia e vegetação. Essas interações dão forma e cor à superfície da Bacia do Riacho São José (BRSJ), a qual compõe um sistema territorial apropriado e transformado pela sociedade, na construção de territórios em suas interfaces econômicas, políticas, ambientais e culturais. Situação que, ao longo do tempo, tem refletido no esgotamento da paisagem semiárida na região Agreste do estado de Pernambuco, devido aos modos de apropriação e transformações feitas da terra, causando problemas ambientais, processos degradantes, interferência na dinâmica geocológica, funções dos ecossistemas e afetando a prestação de serviços ecossistêmicos. Nesse contexto, a presente pesquisa foi desenvolvida sob matrizes da Geografia Física Aplicada, tendo como objetivo analisar a dinâmica geocológica da bacia do Riacho São José, na região Agreste de Pernambuco, para propor cenários prospectivos com fins para a conservação da paisagem semiárida. Nessa intenção, a abordagem metodológica adotada foi a análise integrada da paisagem, compreendendo trabalho de gabinete, atividades de campo e confecção de materiais cartográficos em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas, abordando diferentes procedimentos aplicados à geocologia. Assim, os resultados apresentam as relações intrínsecas que configuram a paisagem semiárida da BRSJ através da caracterização geocológica dos componentes físico-naturais, com atenção a dinâmica fitogeográfica em suas estruturas, horizontal e vertical, e a diversidade florística: sendo verificado, na espacialização do Índice de Vegetação Normalizada (NDVI), que as fitofisionomias vegetais e os pontos representativos da vegetação concentram-se nas áreas de relevo forte ondulado a escarpado; o NDVI, também, permitiu localizar os pontos ideais para a construção de Pirâmides de Vegetação (PVs) e mensurar a diversidade florística; desse modo, fazendo uso de métodos fitossociológicos constatou-se que as espécies arbóreas e arbustivas constituem estado de equilíbrio com maior dominância e abundância; que a ocorrência de espécies abundantes e raras revela um bom índice de diversidade Shannon, de 3,13, caracterizando um ambiente representativo da fitogeografia local, logo deve ser conservado. No contexto dos padrões e mudanças da cobertura da terra, observou-se pouca variação nas classes ao longo dos 30 anos estudados; já nas especificidades do sistema territorial verifica-se a existência de muitos equipamentos (de usos social) e serviços diversos, onde se destaca a prestação de cinquenta e um serviços ecossistêmicos (SE), que concentram-se, principalmente, nas áreas de vegetação natural e antrópicas agrícolas. Essas informações, sobre a caracterização geocológica, a dinâmica fitogeográfica e a cobertura da terra, revelam as atuais interações geocológicas da bacia, indicando que 43% da área apresenta níveis de adequabilidade geocológica adequados aos usos antrópicos e que no mínimo 23% da BRSJ devem ser conservadas em seu estado natural. Constatações que são ampliadas na modelagem preditiva, a qual revelou inúmeros cenários futuros (09), no entanto apenas em um deles foi possível a recuperação de todas as áreas de preservação permanente dos cursos hídricos, isso a partir de um intervalo de 20 anos e adotando um planejamento ambiental na perspectiva conservacionista para paisagem semiárida. Perante os resultados alcançados, acredita-se que as questões norteadoras foram respondidas ao longo dos quatro capítulos de resultados comprovando a tese proposta, uma vez que produziu resultados que refletem a dinâmica geocológica da realidade estudada e vislumbrou construção de cenários futuros viáveis, se faz necessário conhecer o contexto geocológico e socioambiental que compõem a bacia do Riacho São José. Logo, a pesquisa compreende um documento importante no tocante às propostas metodológicas aplicadas no estudo e ao planejamento ambiental em ambiente semiárido, pensando dentro das potencialidades e possibilidades paisagísticas do semiárido.

**Palavras-chave:** Região Agreste de Pernambuco; Geocologia das Paisagens; Fitogeografia; Sistema Territorial; Planejamento Ambiental Conservacionista; Modelagem Preditiva.

## ABSTRACT

The semi-arid environment comprises the Caatinga biome (unique in Brazil) and forms geomorphological features that testify landscapes balanced by the interactions established between the geoeological components: climate, geology, soil, relief, hydrography and vegetation. These interactions give shape and color to the surface of the São José Riacho Basin (BRSJ), which makes up an appropriate territorial system and transformed by society, in the construction of territories in their economic, political, environmental and cultural interface. Situation that, over time, has reflected in the depletion of the semiarid landscape in the harsh region of the state of Pernambuco, due to the modes of appropriation and transformations made of the land, causing environmental problems, degrading processes, interference in geoeological dynamics, ecosystem functions affecting the provision of ecosystem services. In this context, the present research was developed under matrices of Applied Physical Geography, aiming to analyze the geoeological dynamics of the Riacho São José basin, in the Agreste region of Pernambuco, to propose prospective scenarios for the conservation of the semiarid landscape. With this intention, the methodological approach adopted was the integrated analysis of the landscape, comprising office work, field activities and making cartographic materials in a Geographic Information Systems environment, addressing different procedures applied to geoeology. Thus, the results show the intrinsic relationships that configure the semi-arid landscape of BRSJ through the geoeological characterization of the physical-natural components, with attention to the phytogeographic dynamics in their structures, horizontal and vertical, and the floristic diversity: being verified, in the spatialization of the Index of Normalized Vegetation (NDVI), that the plant phytophysionomies and the representative points of the vegetation are concentrated in the areas of strong wavy to cliff relief; NDVI also made it possible to locate the ideal points for the construction of Vegetation Pyramids (PVs) and to measure floristic diversity; thus, using phytosociological methods, it was found that arborescent and shrub species are in a state of equilibrium with greater dominance and abundance; that the occurrence of abundant and rare species reveals a good Shannon diversity index, of 3.13, characterizing an environment representative of local phytogeography, therefore it must be conserved. In the context of patterns and changes in land cover, there was little variation in classes over the 30 years studied; already in the specificities of the territorial system, there is the existence of many equipments (for social uses) and various services, where the provision of fifty-one ecosystem services (SE) stands out, which are mainly concentrated in areas of natural vegetation and agricultural man-made. This information, on geoeological characterization, phytogeographic dynamics and land cover, reveals the current geoeological interactions of the basin, indicating that 43% of the area has levels of geoeological suitability suitable for anthropic uses and that at least 23% of BRSJ must be preserved in their natural state. Findings that are expanded in predictive modeling, which revealed numerous future scenarios (09), however only in one of them was it possible to recover all areas of permanent preservation of water courses, this starting from an interval of 20 years and adopting environmental planning from a conservationist perspective for a semiarid landscape. In view of the results achieved, it is believed that the guiding questions were answered over the four chapters of results, proving the proposed thesis, since it produced results that reflect the geoeological dynamics of the studied reality and envisioned the construction of viable future scenarios, it is necessary to know the geoeological and socio-environmental context that make up the Riacho São José basin. Therefore, the research comprises an important document regarding the methodological proposals applied in the study and the environmental planning in a semi-arid environment, thinking within the potential and landscape possibilities of the semiarid.

**Key words:** Agreste Region of Pernambuco; Landscape Geoeology; Phytogeography; Territorial System; Conservation Environmental Planning; Predictive Modeling.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>24</b>
<b>CAPÍTULO I - CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA DA TESE .....</b>	<b>32</b>
1.1 Paisagem Geográfica e Interfaces Geoecológicas .....	33
1.1.1 Geoecologia das Paisagens: enfoques e aplicações .....	42
1.2 Concepções sobre o Território Geográfico .....	48
1.3 Planejamento Ambiental na Interface Paisagem e Território .....	57
1.3.1 Planejamento Conservacionista no Contexto de Bacia Hidrográfica .....	64
<b>CAPÍTULO II - DELINEAMENTO METODOLÓGICO DA TESE.....</b>	<b>69</b>
2.1 Abordagem Metodológica da Pesquisa.....	70
2.2 Recorde Espacial da Área de Estudo .....	75
2.3 Construção de Bancos de Dados e Delimitação da Área de Estudo .....	78
2.4 Elaboração da Caracterização Geoecológica da Bacia do Riacho São José-PE.....	82
2.5 Procedimentos Técnicos e Operacionais para Estudo da Dinâmica Fitogeográfica.....	91
2.6 Construção do Mapeamento da Cobertura da Terra e Identificação da Prestação de Serviços Ecossistêmicos .....	102
2.7 Propostas Metodológicas para Estudo das Interações Geoecológicas e Modelagem Preditiva.....	113
<b>CAPÍTULO III - CARACTERIZAÇÃO GEOECOLÓGICA DA BACIA DO RIACHO SÃO JOSÉ-PE .....</b>	<b>125</b>
3.1 Condicionantes Climáticos da Bacia do Riacho São José-PE .....	128
3.2 Geologia e Solos na Bacia do Riacho São José-PE .....	142
3.3 Relevo e Análise Morfométrica da Bacia do Riacho São José-PE.....	148
3.4 Cobertura Vegetal na Bacia do Riacho São José-PE.....	162

## **CAPÍTULO IV - DINÂMICA FITOGEOGRÁFICA DA BACIA DO RIACHO SÃO JOSÉ: ESTRUTURA HORIZONTAL, VERTICAL E DIVERSIDADE..... 167**

4.1 Estrutura Horizontal: espacialização das fitofisionomias na bacia do Riacho São José-PE.....	171
4.2 Estrutura Vertical: composição florística e pirâmides de vegetação na Bacia do Riacho São José-PE.....	181
4.3 Diversidade Florística da Bacia do Riacho São José-PE.....	194

## **CAPÍTULO V: APROPRIAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO DA NATUREZA: ENTRE O SISTEMA TERRITORIAL E A PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS ..... 207**

5.1 Contexto Político Administrativo da Bacia do Riacho São José-PE .....	211
5.2 Padrões e Mudanças na Cobertura e Apropriação da Terra na Bacia do Riacho São José-PE.....	218
5.3 Sistema Territorial da Bacia do Riacho São José e a Prestação de Serviços Ecosistêmicos .....	233

## **CAPÍTULO VI - INTERAÇÕES GEOECOLÓGICAS E MODELAGEM DE CENÁRIOS PROSPECTIVOS PARA A BACIA DO RIACHO SÃO JOSÉ-PE..... 251**

6.1 Compartimentação Geoecológica e Estado Ambiental da Paisagem Semiárida da Bacia do Riacho São José-PE .....	253
6.2 Interações Geoecológicas na Paisagem da Bacia do Riacho São José: perfis e níveis de adequabilidade .....	263
6.3 Cenários Prospectivos Voltados à Conservação da Paisagem Semiárida da Bacia do Riacho São José-PE .....	275
6.4 Sugestão de Planejamento Ambiental Conservacionista para a Bacia do Riacho São José-PE.....	295

## **CONCLUSÕES..... 298**

<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>304</b>
--------------------------	------------

<b>APÊNDICES .....</b>	<b>332</b>
------------------------	------------

Apêndice A: Planilha com Coordenadas de Campo da Bacia do Riacho São José-PE.....	333
---	-----

Apêndice B: Código dos Serviços Ecossistêmicos Identificados no Riacho São José-PE ....	335
---	-----

Apêndice C: Conjuntos de Cenários Projetados a partir dos Mapas de Adequação .....	340
--	-----

<b>ANEXOS .....</b>	<b>341</b>
---------------------	------------

Anexo A: Dados do Balanço Hídrico da Bacia do Riacho São José-PE.....	342
---	-----

Anexo B: Ficha Biogeográfica Aplicada na Bacia do Riacho São José-PE.....	346
---	-----

Anexo C: Tabela CICES Aplicada na Bacia do Riacho São José-PE.....	348
--	-----

---

## INTRODUÇÃO

---

## INTRODUÇÃO

A paisagem reflete e testemunha as interações geoecológicas entre as formas naturais, dos modos de vida, dos usos e da apropriação da natureza pela sociedade na construção, desconstrução e reconstrução de territórios diversos. Ações que geram derivações antropogênicas sobre o espaço geográfico, que se apresentam em maior ou menor grau de influência, perante o sistema ambiental em suas trocas de matéria, energia e informação.

Pois, sabe-se que as interações entre os componentes geoecológicos (geologia, relevo, solo, clima e vegetação) resultam em complexas formações morfológicas, como os vales, as serras, as cachoeiras e os domínios fitogeográficos que revelam áreas de transição, enclaves ecológicos e outras características biofísicas, que corroboram com a existência de ricos cenários com potenciais paisagísticos que precisam ser conservados.

Nesse contexto, o ambiente semiárido se sobressai, conforme Ab'Sáber (2011), por apresentar “extrema diversificação de cenários fitogeográficos e fisionômicos”, destacando o contexto de transição Agreste-Sertão, que revelado nas feições do planalto da Borborema, têm-se nas vertentes a leste e sudeste matas de encostas, já nas vertentes a oeste encontram-se as caatingas rústicas sobre solos rochosos.

Perante a dinâmica do ambiente semiárido, na atualidade esse reflete uma paisagem singular sobre fortes tensões, compreendendo um dos ambientes menos conservados no território brasileiro, visto que o domínio das caatingas é o que menos possui unidades de proteção integral (MMA, 2019). Situação que é agravada nas áreas semiáridas moderadas e subúmidas, a transição Agreste, onde se formam os brejos de altitudes, *lôcus* de solos férteis e desenvolvidos e a vegetação original foi intensamente removida para diversos fins (AB'SÁBER, 2003; COUTINHO, 2016).

E colocando em contexto o estado de Pernambuco, onde localiza-se a bacia hidrográfica do Riacho São José, as porções semiáridas moderadas e subúmidas (AB'SÁBER, 2003) coincide com a divisão regional denominada de Agreste pernambucano, onde destaca-se um sistema territorial que ilustram a dinâmica semiárida de uma zona de transição, compondo ambiente que demanda o planejamento ambiental conservacionista.

Para isso, se faz necessário entender o quadro ambiental que compõe o substrato natural e as derivações antrópicas, passadas e atuais, para diagnosticar a dinâmica geoecológica e as potencialidades paisagísticas, vislumbrando os possíveis cenários futuros. Pois, o planejamento de modo geral compreende planejar, projetar e pensar o futuro.

Assim, é importante entender que o planejamento ambiental conservacionista surge perante as preocupações ambientais diante dos modos de apropriação e transformação da natureza, pautando-se na racionalidade ambiental para uso sustentável dos recursos naturais de modo a priorizar a qualidade ambiental, preservando as funções ecológicas e a prestação de serviços ambientais e ecossistêmicos (BRUNETTO, 1997; TORRES, 2006).

Por sua vez, a modelagem de cenários compõe ferramentas de projeção que representam as mudanças ocorridas na superfície terrestre, resultantes das derivações antropogênicas sobre os componentes naturais, retratando o funcionamento da paisagem (OLIVEIRA; MELO & SOUZA, 2013). Por isso os cenários devem ser compreendidos como possibilidades múltiplas, os quais resultam da atuação humana sobre a superfície terrestre considerando diferentes fatores da realidade (CORTEZ, 2007; OLIVEIRA, 2007).

Logo, se a intenção é priorizar um meio ambiente equilibrado para as atuais e futuras gerações, as ações antrópicas devem ser pautadas pela racionalidade ambiental perante o uso consciente dos recursos naturais, então devem ser direcionadas por um planejamento ambiental conservacionista.

Nesse contexto, encontra-se na geoecologia das paisagens o caminho teórico e metodológico, com longa história na geografia, para estudo da dinâmica ambiental com a finalidade de propor o planejamento ambiental do território por meio dos enfoques de análise da paisagem: estrutural, funcional, dinâmico evolutivo, histórico-antropogênico e integrativo.

Segundo Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2017, p. 13), a geoecologia tem como propósito a obtenção de conhecimentos sobre o meio natural a partir de seu sistema de métodos, procedimentos e técnicas de investigações fundamentadas na avaliação do potencial dos recursos naturais de modo a permitir a “[...] formulação de estratégias e de táticas de otimização do uso e manejo mais adequados da função e operação, no tempo e no espaço, de cada uma das unidades paisagísticas.

As unidades paisagísticas são delineadas a partir dos aspectos geoecológicos que permitem diferenciar as feições da superfície terrestres, auxiliando assim em ações de planejamento ambiental voltadas para a conservação dos recursos naturais (FARIAS; SILVA, 2015). Assim, realiza-se uma divisão sobre o território a partir dos objetos semelhantes ou análogos (RODRIGUEZ; SILVA, CAVALCANTI, 2017), logo se destacam as características geomorfológicas, climáticas e fitogeográficas.

Essa ação de compartimentar se deve a intenção de pensar de modo coerente aos diferentes aspectos físicos-naturais e socioambientais que estruturam a paisagem,



caracterizando sua dinâmica perante as trocas e fluxos de energia, matéria e informações. O que demanda um planejamento ambiental setorizado a cada unidade definida, baseados na nas interações geoecológicas, no estado ambiental e funcionamento paisagístico.

Diante do exposto, tendo suas bases na análise integrada da paisagem, a presente tese, intitulada *Dinâmica Geoecológica e Cenários Potenciais para Conservação da Paisagem Semiárida na Bacia do Riacho São José em Pernambuco*, compreende o ambiente semiárido como sistemas dinâmicos, em constante interação entre os aspectos bióticos, abióticos e antrópicos.

Localizada na região Agreste do estado de Pernambuco, a bacia do Riacho São José (BRSJ) compreende um sistema fluvial de cursos intermitentes e efêmeros, os quais possuem água no leito superficial durante certo período do ano, diante dos contrastes meteorológicos e climáticos subjetivos à região. Como faz parte da faixa de transição, apresenta fitofisionomias de caatinga e mata de altitude.

Características essas que compõem um cenário que guarda consigo marcas de outros tempos históricos que estão registrados nas rochas por meio de figuras rupestres (as mais antigas) e rugosidades de construções antigas (casas de taipa e elementos de atividades econômicas de um passado não distante), que resistem na paisagem, além de formações geológicas e geomorfológicas que anunciam pontos de beleza singular.

Assim, coloca-se em tela a importância de se pensar o ambiente semiárido em suas potencialidades paisagísticas e ecológicas, configurando o atual sistema territorial da BRSJ diante das mudanças e dos padrões na cobertura e uso da Terra ao longo do tempo, com a chegada dos complexos eólicos e no reconhecimento dos inúmeros serviços ecossistêmicos que são prestados para o benefício e bem-estar humano.

Logo, foi preciso refletir os desdobramentos futuros desse ambiente semiárido, com vista ao planejamento ambiental, vislumbrando a construção de cenários futuros a partir de níveis de adequabilidades e interações dos componentes geoecológicos. Para isso, a pesquisa foi desenvolvida nas perspectivas da Geografia Física Aplicada, a qual apresenta alicerces para elucidar as seguintes questões norteadoras:

- ✓ Quais são os componentes Geoecológicos que configuram a paisagem da bacia do Riacho São José?
- ✓ Como está estruturada a dinâmica fitogeografia da bacia do Riacho São José, área de transição Agreste?

- ✓ Quais os padrões que configuram o sistema territorial da bacia do Riacho São José e a prestação de serviços ecossistêmicos?
- ✓ Como as interações geoecológicas e os usos antrópicos refletem na adequabilidade da paisagem da bacia do Riacho São José?
- ✓ Quais são os cenários prospectivos possíveis para a realidade da bacia do Riacho São José com fins a conservação do ambiente semiárido?

Ressalta-se que não se vislumbra respostas absolutas e prontas, mas sim entender as possibilidades diante das dinâmicas atuantes na área de estudo, que é processual e susceptível a mudanças, pois o território é configurado a partir das relações sociais e possibilidades paisagísticas.

Diante das questões apresentadas, a tese proposta é que a modelagem de cenários futuros para o ambiente semiárido da bacia do Riacho São José deve ser pautada no planejamento ambiental conservacionista, englobando o estudo da dinâmica geoecológica, em seus níveis de interações físico-naturais e socioambientais. Para que isso seja possível e viável, requer pensar pelo contexto da adequabilidade entre os componentes geoecológicos e os modos de apropriação e transformação do sistema territorial, entendendo a relação da sociedade com o meio em que está inserida.

Nesse entendimento, a pesquisa teve por objetivo geral analisar a dinâmica geoecológica da bacia do Riacho São José, na Região Agreste de Pernambuco, para propor cenários prospectivos com fins para a conservação da paisagem semiárida. Para alcançar essa proposta, os objetivos específicos que delinearam os capítulos da tese, foram: elaborar a caracterização geoecológica da bacia do Riacho São José-PE; delinear a dinâmica fitogeográfica da bacia Riacho São José-PE; apresentar a evolução espaço-temporal dos padrões e mudanças da cobertura da terra para entender o sistema territorial e identificar a prestação dos serviços ecossistêmicos; correlacionar as interações geoecológicas da bacia do São José para modelagem cenários prospectivos à conservação da paisagem semiárida.

A modelagem de cenários com a finalidade conservacionista ressalta a importância de se pensar no ambiente semiárido perante um planejamento ambiental que busque trazer uma adequação entre os modos de apropriação e transformação dos recursos naturais e a qualidade ambiental e função ecológica da natureza, visto que poucas ações são voltadas a conservação das porções semiáridas moderadas e subúmidas, contexto no qual está inserida a BRSJ. Assim, se faz necessário o desenvolvimento de pesquisas que deem destaque e relevância a singular dinâmica dessas áreas.

Logo, espera-se que a pesquisa venha contribuir no rol de estudos da Geografia Física Aplicada, perante a apresentação da estrutura e dinâmica dos componentes da paisagem com base em uma análise integrada, destacando a importância da aplicabilidade de metodologias direcionadas ao planejamento ambiental com fins conservacionista. Sendo ressaltando a importância de se pensar no futuro, por meio da construção de cenários prospectivos, como possibilidades de uma realidade que pode ser modificada, quando são tomadas decisões adequadas, às condições ambientais de uma área, ou seja, um sistema territorial que envolva o contexto ambiental, social e cultural do ambiente semiárido.

Além do mais, a presente tese tem caráter formativo para atribuição de título de doutorado, refletindo aspirações científicas, profissionais e pessoais. Logo, espera-se que ela sirva como um recurso acadêmico e possível de aplicação para o planejamento ambiental de paisagens semiáridas, com destaque para a da bacia do Riacho de São José em Pernambuco.

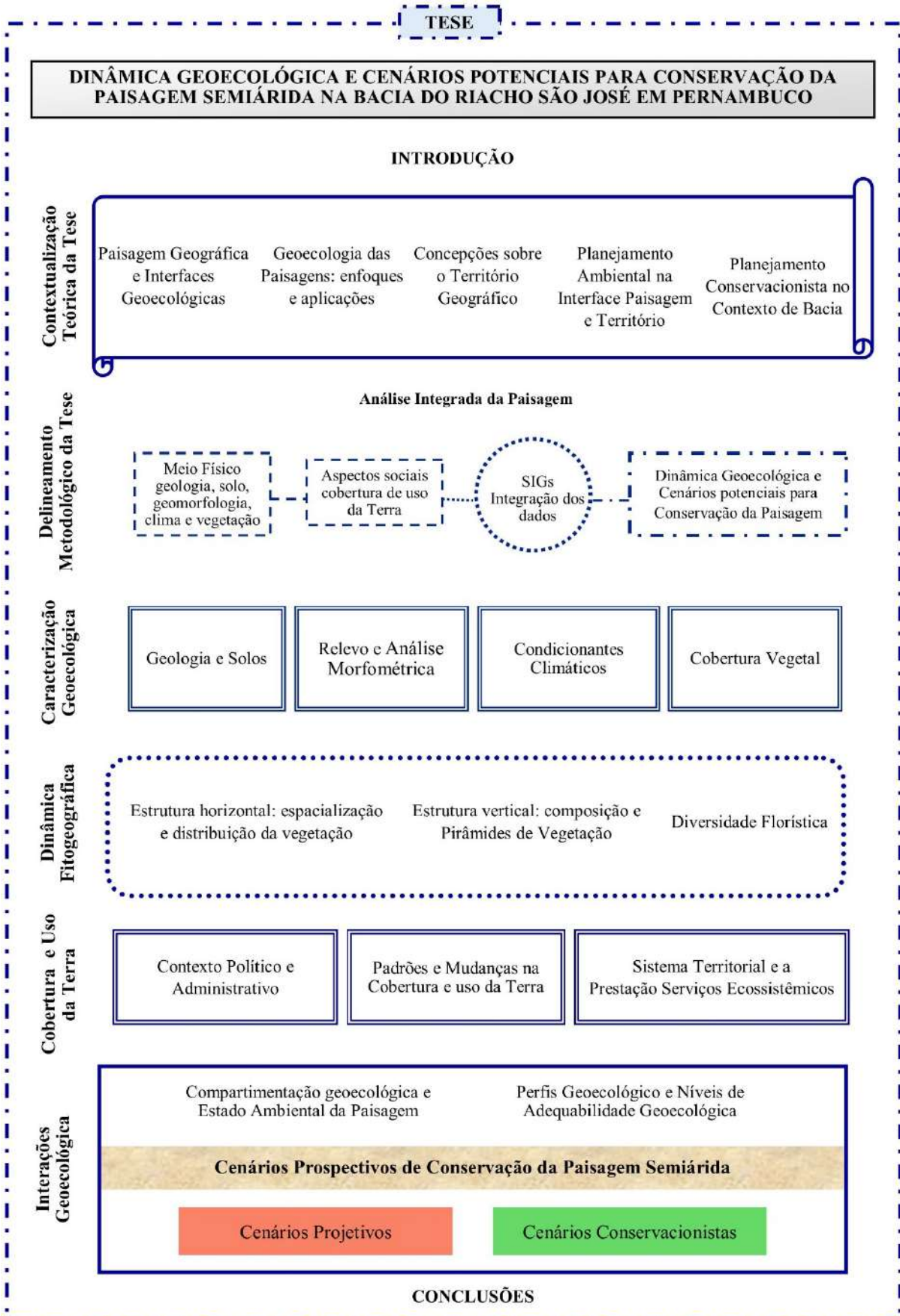
Sendo destaque o fato da BRSJ compreender uma posição geográfica estratégica para o estudo da dinâmica geoecológica de uma área de transição, integrando em sua superfície nuances semiáridas distintas, pois compreende encostas a oeste do planalto da Borborema e porções da depressão do Baixo São Francisco, contrastando diferentes fisionomias fitogeográficas em suas feições que vão de planas a montanhosa e escarpadas.

E por se tratar de uma bacia hidrográfica, a qual é delimitada a partir de cotas altimétricas, os divisores d'água, essa constitui uma unidade natural para estudo e análise dos diversos elementos que estruturam a paisagem em suas relações sistêmicas (BOTELHO, 2015), ultrapassando as delimitações políticas-administrativas. Assim, observa-se que a bacia do Riacho São José está localizada entre quatros municípios da Região de Desenvolvimento Agreste Meridional do Estado de Pernambuco: Caetés, Pedra, Paranatama e Venturosa.

No contexto estrutural, a pesquisa desenvolvida está organizada em introdução, um capítulo teórico, um metodológico, quatros capítulos de resultados e as conclusões (Figura 01). Nessa estrutura, a introdução é responsável pela apresentação da pesquisa, trazendo consigo breve discussão do tema, as questões norteadoras, a tese proposta, o objetivo geral e os específicos, a justificativa e a estrutura do documento.

O Capítulo I - Contextualização Teórica da Tese aborda as teorias e os conceitos estruturantes da pesquisa, a partir de autores de tradição e contemporâneos, dialogando sobre a Paisagem Geográfica, a Geoecologia, o Território e o Planejamento Ambiental. Discussões que direcionam as escolhas metodológicas e procedimentais para a construção dos resultados da tese.

Figura 01: Estrutura organizacional da tese.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2021.

O Capítulo II - Delineamento Metodológico da Tese foi dedicado a apresentar os desdobramentos técnicos e operacionais necessários para a construção de cada etapa da pesquisa. Assim, expõe-se a concepção metodológica adotada e descreve os procedimentos realizados em cada capítulo de resultado.

No Capítulo III - Caracterização Geoecológica da Bacia do Riacho São José, por meio de análise integrada, apresenta-se os componentes geoecológicos que configuram a paisagem estudada. Para tanto, foi necessário compartimentar o texto em tópicos para se ter uma organização do conteúdo, pois ele é extenso, uma vez que compreende a Geologia, o Solo, o Relevo, o Clima e a Cobertura Vegetal, sendo que seu entendimento se faz na integração das partes em um todo complexo, a paisagem da BRSJ.

Por se tratar do ambiente semiárido, dentro da faixa de transição Agreste, reconhece-se que a vegetação é o elemento mais visível e sensível da paisagem, o que denota atenção maior, revelada no Capítulo IV - Dinâmica Fitogeográfica da Bacia do Riacho São José. Quando é estudada a cobertura vegetal por meio de suas estruturas: horizontal, pela espacialização das fitofisionomias; vertical, na composição de pirâmides de vegetação e na mensuração da diversidade florística.

Assim, tendo-se contemplado os aspectos físicos-naturais da BRSJ, o Capítulo V - Padrões e Mudanças na Cobertura e Uso da Terra na Bacia do Riacho São José: relação entre o sistema territorial e a prestação de serviços ecossistêmicos traz em contexto a formação política e administrativa, mudanças e padrões na cobertura e usos da Terra e a relação entre o sistema territorial e a prestação dos serviços ecossistêmicos, visto que é significativo reconhecer os benefícios provindos das dinâmicas e das funções ecológicas do ambiente semiárido.

E, por fim, traz-se o Capítulo VI - Interações Geoecológicas da Bacia do Riacho São José e Cenários Potenciais para Conservação da Paisagem Semiárida no qual é abordado em sua essência, a dinâmica geoecológica da paisagem, mediante as interações entre seus componentes (geologia, solo, relevo, vegetação, cobertura da Terra e clima) para mensurar o estado da paisagem, adequabilidade geoecológica ao uso da Terra e vislumbrar cenários prospectivos de conservação da paisagem semiárida.

---

**CAPÍTULO I**  
**CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA DA TESE**

---

## **1 CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA DA TESE**

O presente capítulo traz em seu conteúdo a fundamentação teórica das categorias de análise geográfica adotadas para a tese *Dinâmica Geoecológica e Cenários Potenciais para Conservação da Paisagem Semiárida na Bacia do Riacho São José em Pernambuco*. Compreendendo uma pesquisa alicerçada nas categorias paisagem e território e desenvolvida nas perspectivas da análise integrada da geoecologia.

As categorias refletem a discussão teórica e as reflexões metodológicas desenvolvidas, dando embasamento para os temas discutidos ao longo da pesquisa: geoecologia da paisagem, sistema territorial, cobertura e uso da Terra, serviços ecossistêmicos, planejamento ambiental e cenários geográficos.

### **1.1 Paisagem Geográfica e Interfaces Geoecológicas**

A paisagem compreende uma categoria e conceito-chave de tradição na ciência geográfica, o seu desenvolvimento e a sua sistematização, na geografia, advêm desde fins do século XVIII, tendo como principal impulsor o naturalista Alexandre Von Humboldt.

De acordo com Silveira (2012), compreender o conceito paisagem em Humboldt é uma questão de método, produto de inúmeros legados filosóficos, científicos e artísticos que confluem em duas perspectivas: a estética e a fisionômica.

Há uma dupla perspectiva da paisagem em Humboldt: uma ligada à perspectiva objetiva, ao reconhecimento de uma fisionomia que dá feição própria às regiões e moldura a superfície da Terra; e outra atrelada à dimensão estética, que reconhece uma aproximação entre sujeito e objeto e mesmo uma atividade criadora do espírito na produção da paisagem (SILVEIRA, 2012, p. 376).

Essa dupla perspectiva traz em contexto do momento histórico e emblemático em que Humboldt estava inserido, visto que, foi notável sintetizador do conhecimento durante uma época de mudança de paradigma, experimentando as influências do romantismo alemão que se desenvolvia no final do século XVIII e início do século XIX. Assim, as contribuições de Humboldt denotam o conhecimento científico com o estudo da superfície terrestre e da natureza por meio de obras clássicas: *Geografia das plantas*, *Quadros na Natureza* e *o Cosmo* (PEDRAS, 2000; SILVEIRA, 2012; VITTE, 2007).

Nesse viés, a perspectiva estética da paisagem em Humboldt se deve à influência de Goethe, pelo método comparativo na busca de encontrar uma unidade na variação das formas, comparação entre diferentes feições e diferentes lugares e condições (SILVEIRA, 2012; 2015).

Por sua vez, na perspectiva fisionômica a paisagem compreende a objetividade que define as particularidades regionais, como a forma unificadora de uma natureza compreendida como um todo por meio da descrição, de medidas e da compreensão de leis gerais (matemáticas e físicas) da natureza (SILVEIRA; VITTE, 2009).

Assim, Humboldt reuniu um corpo de informações que permitiu o estabelecimento de relações e conexões entre os elementos do mundo em que a descrição da paisagem foi o modo de registrar as diferentes regiões descobertas, revelando uma composição híbrida que combinou a técnica descritiva e o conhecimento das leis naturais ao cenário observado (PEDRAS, 2000; SILVEIRA; VITTE, 2009).

Essas perspectivas revelam duas dimensões: a subjetividade para explicar e compreender a natureza pela visão do sujeito daquilo que está impresso e a objetividade no ambiente e nas formas interdependentes da realidade do mundo.

Assim, profundas e extensas obras a respeito do entendimento da natureza, em Humboldt, marcam o início do conhecimento da paisagem para as ciências, em especial a Geografia Física, na qual a paisagem corresponde ao elemento unificador, concepção estruturadora que permite reconhecer a relação homem e natureza em uma mútua interdependência.

Nesse contexto, observa-se que Humboldt sistematizou os passos iniciais para o desenvolvimento do conceito “paisagem” no âmbito científico. E o fato de o referido naturalista ter morado na Alemanha e na França fez com que ele e as suas obras influenciassem diretamente o desenvolvimento da ciência geográfica em ambos os países e, conseqüentemente, o estudo da paisagem.

Diante do exposto, como apresentado em Vitte (2007, p.71), a categoria paisagem analisada na geografia possui elasticidade, pois, “[...] permite-nos refletir de um lado, sobre as bases de fundamentação do conhecimento geográfico como projeto da modernidade. Por outro lado, ela insere-se no debate sobre a complexidade da abordagem integrada entre a natureza e a cultura nas ciências sociais”.

Etimologicamente, o termo paisagem teve origem na Alemanha com a terminologia *landschaft*, fazendo referência a distrito territorial ou propriedade habitada por um grupo de pessoas. Posteriormente foi derivado para outros países, mas mantendo o prefixo *land* (país, Terra, terreno), cujo significado é associado a unidade territorial, a exemplo: *landscip*, em inglês; *landskap*, em sueco; *landschao*, em holandês (HOUSTON, 1970).



De acordo com a literatura nacional e internacional, o estudo da paisagem é desenvolvido e sistematizado na Geografia durante os séculos XIX e XX, com destaque para as escolas russa, alemã, francesa e, posteriormente, a anglo-saxônica (GUERRA; MARÇAL, 2015; LANG; BLASCHKE, 2009; RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017). Nesse longo percurso, ganhou materialidade e abordagens diversas, sendo, na maioria das vezes, acompanhado de um arcabouço teórico, metodológico e epistemológico.

Em vista disso, no início do século XIX a paisagem é objeto de estudo de naturalistas e geógrafos, proporcionando a expansão da terminologia pela Europa, fazendo surgir, no final desse século, a ciência da paisagem (*landschaftskunde*), quase estabelecida nas escolas alemã e a russa (CHRISTOFOLETTI, 1999; LANG; BLASCHKE, 2009).

No entanto, vale ressaltar que a construção, o desenvolvimento e a aplicação do conceito paisagem ocorreu de maneira diferenciada no âmbito das referidas escolas, visto que as análises sobre a paisagem estavam apoiadas em diferentes construções epistemológicas e no tempo específico de cada realidade (GUERRA; MARÇAL, 2015).

Desse modo, nas escolas alemã e soviética o estudo da paisagem é concebido como complexo natural integrado sobre as influências teóricas de Humboldt e Dukuchaev; já nas escolas francesa e anglo-saxônica a análise da paisagem é analisada como um espaço social marcada pelo viés sociocultural de uma Geografia de entidades perceptivas (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017).

É válido destacar que a Geografia francesa passou pelas influências de Humboldt, mas dando maior peso à análise da fisionomia da paisagem percebida pelo indivíduo, desenvolvendo uma análise regional da França por Vidal de La Blache, no século XIX. Realidade essa que passa por novas concepções a partir do entendimento de geossistema desenvolvida nos estudos de Bertrand, no século XX.

Já na escola anglo-saxônica, mais recente, sobre bases teóricas da Geografia sociocultural, teve os trabalhos de Carl Sauer (1998) dedicados à paisagem enquanto forma morfológica e as construções culturais que moldam o ambiente natural.

Por sua vez, a geografia alemã no século XIX passou pelas influências de Humboldt e dos naturalistas da época, os quais dedicavam-se ao estudo das relações mútuas entre os elementos do meio e a sua repartição pelo globo (PASSOS, 2003). Além disso, a paisagem era concebida enquanto conjunto de formas que determinam uma área da superfície terrestre, a exemplo das diferenciações paisagísticas da vegetação feita por Humboldt (PASSOS, 2003).

Nesse mesmo período, virada do século XIX para o XX, na Alemanha diversos estudos foram desenvolvidos sobre a ciência da paisagem (*Landschaftskunde*): das contribuições de Grisebach (entre 1838 e 1872) ao estabelecer a tipologia da formação vegetal derivada de Humboldt sobre a organização das formas vegetais e o desenvolvimento da diferenciação fisionômica da paisagem; da visão holística da natureza desenvolvida por Ritter e Kant; e ao final do século XIX do raciocínio positivista ambiental de Ratzel que insiste nas relações causais na natureza (PASSOS, 2003).

Por seu turno, no século XX, o entendimento da paisagem enquanto ciência vêm com expressão nos estudos de Passager, Paffen, Carl Troll, Neef e Haase (LANG; BLASCHKE, 2009; RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017). Dentre esses estudiosos, Passager e posteriormente Paffen, em 1930, procuraram construir uma analogia da paisagem por meio da fisiologia enquanto síntese dos elementos peculiares da natureza (LANG; BLASCHKE, 2009).

Conforme Houston (1970), por meio de seus estudos sobre a África, Passager foi o primeiro a dedicar um livro à paisagem e a sua classificação enquanto categoria para ser estudada em sua gênese. E em 1931, em seu livro “Geomorfologia”, Passager explica os vínculos entre as formas do relevo, do clima e da vegetação (PASSOS, 2003), onde vê-se uma abordagem integrados a refletir múltiplas e complexas conexões existentes na natureza e seu equilíbrio dinâmico.

Vale destacar que Carl Troll, representante da ciência da paisagem na escola Russa, também teve enorme contribuição ao estudo da paisagem, pois incorporou as abordagens recentes da ecologia (desenvolvidas na época) ao conceito de paisagem e assim definiu a ecologia da paisagem, que posteriormente foi denominada de Geoecologia (PASSOS, 2003; TRUEBA, 2012). Além disso, Troll representa marco nas reflexões acerca da paisagem natural e cultural, nas interações entre os modelos espaciais e ecológicos e na questão da escala no estudo da paisagem (GUERRA; MARÇAL, 2015; PASSOS, 2003).

O termo Geoecologia, desenvolvido por Troll, marca uma concepção interativa da paisagem, assinalando o enfoque funcional como o resultado de todos os geofatores (elementos da natureza e da ação do homem em interação), incorporando a abordagem sistemática na identificação da estrutura da paisagem (GUERRA; MARÇAL, 2015).

Na literatura, os termos “ecologia da paisagem” e/ou “Geoecologia” foram difundidos na Europa durante a segunda metade do século XX e na América a partir dos anos de 1980 (METZGER, 2001; RITTER; MORO, 2012). Esses termos são tidos como sinônimos, porém, as vezes apresentam abordagens diferentes: ora uma visão naturalista e ecológica da paisagem;

ora compreendendo também o componente humano por meio de um entendimento geográfico. Mas, tendo em comum o estudo da paisagem com vistas de planejamento.

A evolução no estudo da paisagem passa a refletir, cada vez mais, as modificações provocadas pela ação antrópica sobre a superfície terrestre, tornando esse um fato motivador para a mudança do termo, em alguns autores, de uma abordagem mais ecológica e naturalista à sua concepção mais geográfica e social, a Geoecológica.

O próprio Troll (1966) aborda que o conceito ecologia e paisagem relacionam-se ao ambiente do ser humano como entendimento de uma área terrestre particularmente variada que deve ser utilizada de modo adequado no tocante aos seus aspectos socioeconômicos. Visto que o ambiente natural é transformado constantemente pela sociedade que cria paisagens economicamente e culturalmente exploradas.

A inserção da ecologia nos estudos da paisagem marca a entrada da abordagem sistêmica no estudo ambiental, emergindo dois campos: a Geoecologia, com caráter geográfico e integrado de base ambiental e a ecologia da paisagem por meio de abordagem mais ecológica e biológica no estudo da paisagem.

Nesse contexto, Metzger (2001) expõe a heterogeneidade de visões ligadas à Geoecologia a partir de duas abordagens distintas: uma nascida na Europa, a qual foi desenvolvida por Troll, em 1938; e a outra que surgiu nos anos de 1980, na América do Norte.

A primeira perspectiva aborda a integração entre fatores naturais e a ação humana, incorporando a abordagem sistêmica na identificação da estrutura e gênese da paisagem (GORDON *et al*, 2001; RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017; TAKEUCHI, 1983; TROLL, 1966). Por conta disso, se faz uso de Sistema de Informações Geográficas (SIGs) e dados geoespaciais para cartografar as paisagens, sendo abordada no Japão, Europa Ocidental e América do Sul.

Além do apresentado, é uma abordagem ligada, principalmente, ao planejamento da paisagem, da apropriação feita pela sociedade, onde vem sendo versado sobre a relação de adequação entre os componentes geoecológicos e os modos com que a sociedade vem fazendo uso dos diferentes ambientes terrestres.

Por sua vez, a segunda concepção tem origem norte-americana e possui uma base ecológica influenciada pela ecologia de ecossistemas, pela modelagem e pela análise espacial. Ademais, oferece maior destaque às paisagens denominadas naturais, fazendo uso de conceitos da ecologia da paisagem para a conservação da diversidade biológica e do manejo de recursos naturais (METZGER, 2001; RITTER; MORO, 2012).

Vale salientar que a segunda abordagem também se faz presente na Europa, em estudos ligados ao geoeossistema, à métrica, às manchas, ao mosaico de relevos, aos tipos de vegetação e as formas de ocupação, à fragmentação e à conectividade das paisagens (ALEXANDER *et al*, 2007; BARSCH, 1996; HUGGETT, 1995; LANG; BLASCHKE, 2009). Para esses estudos se faz amplo uso de dados espaciais e de SIGs para análise dos componentes da natureza em diferentes escalas.

É válido sublinhar que nesta pesquisa preferência é dada ao uso do termo Geoecologia em sua abordagem geográfica integradora, tida como um caminho teórico e metodológico direcionado ao planejamento da paisagem ao longo da história humana e a sua preocupação com a adequação dos usos antrópicos, com as potencialidades e as possibilidades do ambiente.

Nessa interface, a Geoecologia das paisagens se apresenta como um arcabouço teórico e metodológico para estudar o meio ambiente por meio da análise integrada, fazendo uso de procedimentos técnicos e operacionais que permitem identificar a forma, a estrutura e a função da paisagem (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017). Tudo isso para que seja possível subsidiar diagnósticos e análises ambientais aplicáveis no planejamento e gestão ambiental do território.

De acordo com Barros (2011, p. 03), “A Geoecologia da Paisagem tem sua gênese nos trabalhos realizados a partir do século XIX por Humboldt, Lamonosov e Dokuchaev. No século XX, Troll (1950) propôs a criação da ciência da Geografia da Paisagem centralizada no estudo dos aspectos espaço-funcionais”. Por seu turno, a Geoecologia, segundo Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2017), teve sua integração a partir de 1985 e representa um campo da Geografia Ambiental ou Ecogeografia preocupada com as questões ambientais através do estudo integrado da relação estrutura-espacial e dinâmico-funcional das paisagens enquanto geoeossistemas.

Para Silva, Gorayeb e Rodriguez (2010), a Geoecologia das paisagens estabelece uma abordagem teórico-metodológica com o enfoque sistêmico e interdisciplinar. Essa abordagem pode ser utilizada para subsidiar o planejamento territorial fornecendo um diagnóstico operacional que tem por objetivo classificar e cartografar as unidades das paisagens no território.

Em vista disso, a Geoecologia das paisagens tem a paisagem natural como o objeto inicial da análise “[...] dentro de uma concepção de estudo que a concebe como uma realidade geográfica. No enfoque geoecológico, ela é interpretada como uma conexão harmônica de componentes e processos, intrinsicamente integrados” (SILVA; RODRIGUEZ, 2011, p. 02).

Na atualidade, as paisagens refletem mudanças das feições naturais devido aos intensos processos de ocupação e transformação ambiental, que resultam em impactos, leva a paisagem a ser “[...] compreendida como um conjunto constituído por feições naturais, sociais e culturais” (SILVA; RODRIGUEZ, 2011, p. 03). Assim, faz-se necessário o desenvolvimento de análises interdisciplinares entre os sistemas naturais e culturais.

A visão sistêmica, por sua vez, concebe a paisagem como um sistema integrado, no qual “[...] cada componente isolado não possui propriedades integradoras. Essas propriedades integradoras somente desenvolvem-se quando se estuda a paisagem como um sistema total” (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017). Nesse sentido, enquanto sistema total, a interdisciplinaridade se torna necessária para a explicação da realidade.

Nesse entendimento, Barros (2011) compreende que a análise sistêmica da paisagem engloba os elementos da natureza, da economia, da sociedade e da cultura em um contexto amplo, composto por variáveis que buscam representar a dinâmica da natureza como um sistema, o qual relaciona-se com o homem, constituindo sistemas complexos.

Por sua vez, para Cavalcanti (2014, p. 18) “[...] as paisagens são unidades geoecológicas resultantes da interação complexa de processos naturais e culturais”. Essa interpretação compreende a paisagem em um processo dinâmico natural quando ocorre a interferência humana, fazendo parte dos processos atuantes sobre a natureza como integrante do sistema paisagístico ou externo a ele.

Assim, na concepção geoecológica, a paisagem funciona como um sistema composto pela absorção, pela transformação e pelo consumo de energia, matéria e informação (E.M.I.), ou seja, “[...] conjunto de elementos que se encontram em relação entre si, e que formam uma determinada unidade e integridade” (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017, p. 42).

O sistema, nesse caso, é entendido como um todo complexo aberto, constituído pela interligação e interdependência entre o sistema maior e os seus subsistemas inferiores, além de se manter em constante conexão com os demais sistemas presentes em seu entorno através da troca de E.M.I.

Ainda segundo Barros (2011), a paisagem, enquanto um sistema, exige pensar o todo, de modo a compreender que neste existem inter-relações entre suas partes. Para este autor, é importante fazer uma análise dialética da paisagem, o que “[...] significa aceitar sua existência e a sua organização sistêmica como uma realidade objetiva, considerando-a como um sistema material e concebendo-a como uma totalidade que se apresenta como um fenômeno integrado” (BARROS, 2011, p. 6).

Assim sendo, com arsenal conceitual e metódico, a geoecologia das paisagens representa uma proposta adotada nos estudos de geografia aplicada ao planejamento e gestão ambiental, bem como na construção de modelos teóricos para congregar a sustentabilidade ao processo de desenvolvimento (BARROS, 2011; RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTE, 2017).

Destarte, a análise ambiental pela perspectiva sistêmica apresenta-se como um caminho fecundo para a Geoecologia, o que requer o conhecimento acerca das condições geoecológicas do território, uma vez que conhecer esses elementos é condição fundamental para a explicação da estrutura e da função que rege a paisagem, os seus aspectos físicos e as interações sociais.

Para tanto, a Geoecologia da paisagem dispõe de um sistema de métodos, procedimentos e técnicas que possibilitarão o conhecimento sobre o ambiente, o que permitirá estabelecer diagnóstico operacional direcionado à gestão ambiental sustentável do território (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTE, 2017).

Ainda, a análise da paisagem compreende um conjunto de métodos e procedimentos técnico-analíticos que permitem conhecer e explicar a estrutura e a funcionalidade da paisagem por meio de suas propriedades, índices e parâmetros que configuram a dinâmica, a história, os processos de formação e a transformação da paisagem como sistemas manejáveis e administráveis (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017).

Dentre os caminhos adotados nas pesquisas geoecológicas, se destaca a compartimentação da paisagem a partir de diferentes escalas (regional ou local), com finalidade de definir as unidades de paisagem ou geocomplexos a serem investigados.

Farias (2015) e Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2017) destacam que a regionalização geoecológica parte do princípio de que a diferenciação presente na superfície terrestre corresponde a processos ininterruptos sobre a influência da dinâmica dos fatores da natureza e da ação antrópica, constituindo sistemas naturais especializados e complexos.

Ainda para os mesmos autores, o nível regional das paisagens engloba desde a escala continental até a regional, como regiões geográficas (ecorregiões) que são estudadas pela regionalização paisagística ou a tipologia da paisagem. Sendo assim, o procedimento da regionalização paisagística se faz pela compartimentação de uma área, tendo as estruturas morfológicas como base.

Logo, a regionalização demanda reconhecer a existência de inter-relações e interdependência entre os componentes naturais, baseando-se na inseparabilidade dos elementos que formam as unidades paisagísticas, nas quais as interações entre os seus

componentes e os seus processos naturais podem favorecer ou desfavorecer específicos processos de desenvolvimento antropogênico (SILVA; RODRIGUEZ, 2011), ou seja, os usos feitos do território.

Vale destacar que a tipologia da paisagem apresenta, enquanto procedimento, a delimitação de sistemas territoriais a partir de traços comuns da paisagem e entre objetos semelhantes e/ou análogos. Por conta disso, abrange diferentes tipos de classificações que consideram a configuração de uso, de ocupação da terra e dos impactos presentes para compreender a composição, a estrutura, as relações, o desenvolvimento e a diferenciação das unidades de paisagem. (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017; SILVA; RODRIGUEZ, 2011). Esse processo de divisão também se dá pela análise, classificação e cartografia dos complexos naturais ou complexos modificados pela sociedade, sendo esses em nível específico e integrador entre os elementos geoecológicos.

Essas propostas de estudos geoecológicos apresentam, como finalidade, a divisão de paisagens em unidades locais, o que compreende a diferenciação em espaços menores e de uma escalar maior, ou seja, apresentam maior nível de detalhamento em que predomina as diferenciações topográficas e morfológicas (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017).

De acordo com Rodriguez, Silva e Cavalcanti, (2017, p. 66) citando Haber (1994), “As “unidades locais da paisagem” originam-se no processo de desmembramento erosivo do relevo, de penetração da umidade nas rochas-mãe e sua lixiviação, influenciadas pelas atividades vitais das comunidades vegetais”. Nessas unidades se destacam as relações verticais e horizontais, as quais o relevo tem o importante papel de distribuir os fluxos de energia e de substâncias.

Para tanto, a escala de análise regional “permite especializar os diferentes fatores de formação da paisagem e os aspectos atuantes, fornecendo informações físico-geográficas e socioeconômicas agregadas à dinâmica de funcionamento da paisagem” (FARIAS, 2015, p. 156). Por sua vez, a escala local permite “compartimentar e caracterizar as subunidades geoecológicas em função do elevado nível de detalhamento; além de agregar os aspectos da escala regional, consideram os resultados do autodesenvolvimento e a interação complexa entre os diversos geocomponentes” (FARIAS, 2015, p. 156).

Desse modo, o estudo da Geoecologia se aplica a diversas áreas do conhecimento, apresentando como uma das principais finalidades cartografar essas unidades (geocomplexos) da paisagem, bem como promover a integração dos componentes geoecológicos por meio de perfis geoecológicos e quadros sínteses (FARIAS, 2015; MOTA; MELO & SOUZA, 2017).

De acordo com Silva e Rodriguez (2011), os “produtos cartográficos e os quadros síntese são instrumentos que podem ser aprimorados por meio de novas análises geoecológicas mais minuciosas”, as quais permitem a elaboração de planos para a gestão ambiental do território de modo mais democrático, o qual pode ser alcançado com a realização de zoneamento geoecológico de precisão, ou seja, em uma escala grande, destacando-se os detalhes presentes na paisagem por meio de suas unidades.

Nesse processo, se escolhe o enfoque ou os enfoques geoecológicos mais adequados à análise da paisagem a ser estudada. São cinco os enfoques de trabalho: estrutural, funcional, dinâmico-evolutivo, histórico-antropogênico e integrativo. Eles não são excludentes, mas sim complementares, assim, a maioria das pesquisas demandam um trabalho interativo entre eles.

### **1.1.1 Geoecologia das Paisagens: enfoques e aplicações**

Em essência, a geoecologia é focada na análise da dinâmica da paisagem (SAHDEV; SINGH; KUMAR, 2020), o que possibilitou que ao longo de seu desenvolvimento e de sua sistematização se tornasse um campo científico abrangente de aplicação interdisciplinar, seja na geografia, seja em áreas afins como a Ecologia, a Biologia, o Urbanismo, entre outras de igual relevância.

O arcabouço teórico e metodológico que compõe a Geoecologia dispõe de instrumentos para uma análise integrada da paisagem em diferentes escalas, tendo entre as principais finalidades o diagnóstico do ambiente e o mapeamento com objetivos de planejar e gerir o território. Nesse contexto, Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2017) elencam as abordagens teóricas e metodológicas de aplicação da Geoecologia por meio dos enfoques (ou concepções) de análise da paisagem, os quais tratam de ideias, teorias e métodos de estudo para a análise paisagística e territorial.

Esses enfoques possibilitam a realização de pesquisas baseadas na relação paisagem natural e ação antrópica (FARIAS, 2015; MOTA; MELO & SOUZA, 2017; RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017). Assim é possível desenvolver um diagnóstico operacional a partir dos aspectos geoecológicos, uma vez que o pesquisador estará embasado no conhecimento prévio de todos os elementos que interagem dinamicamente para formação das paisagens.

Assim, cabe ao pesquisador definir qual a intensão de estudo, a área a ser pesquisada e escolher a vertente ou as vertentes que melhor compreendem os objetivos propostos, pois, na



Geoecologia é possível aplicar de modo integrado os diferentes enfoques: estrutural, funcional, dinâmico-evolutivo, histórico-antropogênico e integrativo.

Enquanto aporte teórico-metodológico, a Geoecologia possibilita a aplicação dessas concepções em diversos estudos, como por exemplo: unidades de conservação, zona costeira, auxílio na elaboração de plano diretor, bacias hidrográficas, compartimentação e classificação de unidades das paisagens, entre outras possibilidades (BARROS, 2011; FARIAS, 2012; 2015; MANOSSO, 2005; MOTA, 2017; 2012; PACHECO, 2014; SANTOS, 2016; SILVA; GORAYEB; RODRIGUEZ, 2010; TÁVORA, 2014; TEIXEIRA, 2018).

De modo geral, as pesquisas embasadas pela Geoecologia buscam realizar, primeiramente, um levantamento teórico-metodológico do tema, posteriormente fazem um diagnóstico das condições geoecológicas do sistema paisagístico, e, por fim, indicam as possibilidades de usos mais adequados ao ambiente e aos recursos naturais.

Desse modo, o diagnóstico dos componentes geoecológicos permite pensar e construir um planejamento ambiental do território, sendo essa finalidade um dos principais objetivos da geoecologia, como também a busca de propor uma gestão pautada na governança ambiental, sustentabilidade das paisagens e equidade social.

Estudos embasados nos preceitos teóricos e metodológicos da Geoecologia, em sua maioria, consideram mais de um enfoque de análise, sendo o estrutural e o funcional os mais comuns para a investigação da paisagem. Isso se dá pelo fato de que conhecer as estruturas (aspectos verticais e horizontais) e a função (gênese e funcionamento) de uma paisagem é o primeiro passo a ser dado para compreender a integração dos componentes geoecológicos (FARIAS, 2015; MANOSSO, 2012; MOTA, 2017; SANTOS, 2016).

Diante do exposto, é importante destacar os aspectos teóricos e metodológicos de cada enfoque elencado. Para isso, se busca nos autores que sistematizaram tais aspectos, Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2017), e pesquisas que fizeram uso desses teóricos. Dessa forma, espera-se o desenvolvimento de uma análise integrada por meio da estrutura, da função, da evolução dinâmica e antropogênica, da estabilidade e da sustentabilidade paisagística.

Como apresentado, o primeiro enfoque é o Estrutural, o qual permite conhecer, analisar e explicar a estrutura da paisagem por meio da combinação entre os componentes inferiores e superiores que formam e organizam o sistema paisagístico de modo vertical e horizontal. Segundo Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2017), a estrutura da paisagem reflete uma relação sistêmica entre seus componentes tendo como conceitos básicos à estrutura horizontal, vertical

e geodiversidade. Esta última corresponde ao substrato natural e abiótico das unidades paisagísticas: Pedologia; Geologia, Geomorfologia, hidrografia (MANOSSO, 2012).

O estudo da estrutura paisagística se faz perante a identificação das propriedades geométricas e espaciais. Sendo as estruturas espaciais “[...] as agrupações reais territoriais das formações naturais que se repetem ou transformam-se de forma regular, formando uma integridade que corresponde a um ou outro táxon do conjunto geral das unidades naturais” (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017, p. 112, apud ALEKSANDROVA; PREOBRAJENSKI, 1982).

A estrutura vertical refere-se aos componentes e aos elementos que estão dispostos no sentido vertical da paisagem, por sua vez, a estrutura horizontal corresponde a uma estrutura morfológica que representa a integração espacial das paisagens desde o nível inferior ao nível superior (MEZZOMO; GHISSO; CAMPOS, 2014; MOTA; MELO & SOUZA, 2017). Assim, o estudo das estruturas da paisagem constitui um conjunto de procedimentos direcionados a determinar a diversidade geoecológica.

Os métodos aplicados no enfoque estrutural são quantitativos e qualitativos, com finalidade cartográfica por meio da compartimentação geoecológica pela regionalização e/ou tipologias das paisagens (FARIAS, 2015). Esses processos podem estabelecer os seguintes índices: complexidade, forma dos contornos, vizinhança, conexão, composição, integridade, coerência e configuração geoecológica (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017).

A perspectiva Funcional é o segundo enfoque analisado. Essa compreende as relações funcionais e os elementos que estruturam a paisagem destacando os geocomplexos pelo balanço de energia, matéria e informação, as interações dos componentes, a gênese, os processos, a dinâmica, a resiliência e a homeostase (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017).

Nessa abordagem, a gênese da paisagem ocorre por meio de processos, movimentos e intercâmbios ativos de energia e de substâncias. O que permite conhecer a organização estruturo-funcional levando em consideração a biota, os solos, o escoamento e as condições climáticas, caracterizando o funcionamento da paisagem. (HUGGETT, 1995; RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017)

Já o funcionamento da paisagem compreende as complexas relações existente entre os seus componentes, compreendendo funções, ações ou determinados trabalhos que permitem gerar biomassa, solo, húmus, sais, entre outros elementos, como também acumular e conservar energia (HUGGETT, 1995; RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017).

A gênese e o funcionamento da paisagem refletem o intercâmbio de energia e substância mantidas pelos balanços dos fluxos de energia, matéria e informação numa cadeia de relações que asseguram a integridade e a coerência do sistema paisagístico (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017). Nesse contexto, os métodos de estudos aplicados a abordagem funcional têm por finalidade estabelecer a função, a estabilidade, a solidez, a fragilidade, o estado ge ecológico, a capacidade de automanutenção, a autoregulação, a organização e o equilíbrio da paisagem.

O terceiro enfoque apresentado por Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2017) é o Dinâmico-Evolutivo, o qual procura estabelecer as leis e as regularidades que permitem o desenvolvimento do território por meio de mudanças dinâmicas, estados temporais, evolução e desenvolvimento das paisagens. Visto que as causas internas e externas provocam mudanças e desenvolvimentos contínuos a qualquer território, independentemente da forma de ocorrência, modificando suas partes estruturais (HUGGETT, 1995;).

Assim, a concepção Dinâmica-Evolutiva compreende que a paisagem é susceptível a três tipos de mudanças regulares: periódicas, ocorrem em um espaço de tempo similar, como é o caso das estações do ano e as suas mudanças na fisionomia de algumas paisagens; cíclicas, que caracterizam a capacidade das paisagens se recuperarem do seu estado inicial em diferentes intervalos de tempo, como acontece com uma área impactada que passa pela regeneração natural; rítmicas, mudanças que ocorrem em uma cronologia não muito rígida, em que as paisagens não retornam obrigatoriamente ao mesmo estado inicial (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017).

Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2017) destacam que essas mudanças perpassam três níveis de funcionamento temporal: a curto prazo, que varia de alguns minutos a um dia, como as condições meteorológicas do tempo; a médio prazo, que corresponde a dias ou meses; a longo prazo que corresponde às mudanças de estado que ultrapassam mais de um ano, como por exemplo a distinção de ciclos ou ritmos climáticos de caráter planetário e processos sucessivos da vegetação em sua dinâmica natural.

Em um contexto mais social, tem-se o enfoque Histórico-Antropogênico, o qual estuda as interferências e as mudanças decorrentes das relações que as sociedades estabeleceram com a natureza ao longo do tempo. Nesse viés, o aporte metodológico de análise aplicado é o histórico e a análise antropogênica, pois procuram diagnosticar os índices de mudanças antropogênicas, perturbações, modificação e transformação das paisagens, isso compreendendo

determinado recorte espacial e temporal (FARIAS, 2015; MOTA, 2017; RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017; SANTOS, 2016).

Desse modo, a atenção é dada à capacidade da ação humana em realizar modificações nas paisagens com certa regularidade, o que ocorre desde o início do tempo histórico da humanidade, mas que depois da Revolução Industrial (século XVIII) se intensificou, principalmente nos modos de exploração dos recursos naturais e na descarga de matérias e substâncias prejudiciais ao meio ambiente.

Por conta disso, as modificações e os impactos antrópicos sobre a superfície terrestre perpassam por leis naturais, nas quais a paisagem é subordinada em seu funcionamento dinâmico e evolutivo. Assim, “O homem somente utiliza as leis naturais para alcançar seus propósitos, modificando, espontânea ou conscientemente, a direção e a velocidade da evolução paisagística” (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017).

Vale ressaltar que a modificação imposta pela sociedade não destrói as leis naturais de uma paisagem, mas pode interferir nas mesmas. Por conta disso, a própria dinâmica da natureza, após sofrerem uma perturbação, apresenta a capacidade funcional e de resiliência de retorno ao estado inicial. Porém, caso isso não seja possível, devido a magnitude do impacto ou transformação, um novo equilíbrio é gerado a partir das condições reinantes.

Para entender o aspecto histórico antropogênico se faz necessário compreender como o homem modificou as paisagens ao longo de sua história, bem como, o modo que essa mudança resultou nas paisagens contemporâneas, as quais os sistemas paisagísticos funcionam sobre fortes tensões decorrentes das atividades antrópicas.

O último e quinto enfoque é o Integrativo da Estabilidade e Sustentabilidade, que tem a finalidade de delinear estudos de estabilidade natural da paisagem e da sustentabilidade ambiental do território, pautado no uso consciente dos recursos naturais na atualidade, ou seja, pensando nas gerações futuras.

A estabilidade é representada pela capacidade de funcionamento da paisagem em condições ideais de suas estruturas e funções vitais, mesmo depois de expostas a determinadas cargas negativas de origem natural ou antropogênica. Além disso, a estabilidade é formada na relação solidez, elasticidade e plasticidade (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017).

De acordo com Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2017), a solidez mantém a paisagem em estado e propriedades iguais mesmo após impactos externos, e é composta pela geodiversidade da paisagem; a elasticidade faz com que a paisagem volte ao estado inicial depois da ocorrência de mudanças devido a impactos externos; a plasticidade, por sua vez, vai refletir um novo

equilíbrio paisagístico, após um impacto interno, mas conservando a integridade paisagística. Assim, a solidez, a elasticidade e a plasticidade estão presentes tanto na estabilidade das paisagens naturais como nas antropogênicas, visto que a estabilidade representa a propriedade espacial dos sistemas paisagísticos para que se mantenham em funcionamento.

Por seu turno, a sustentabilidade geoecológica reflete na capacidade do sistema paisagístico em se manter em estados ótimos de funcionamento, de modo a cumprir as funções geoecológicas e o potencial de utilização social e produtivo (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017). Logo, emergem a necessidade de múltiplas sustentabilidades, envolvendo os meios naturais e os meios sociais em suas esferas de sustentabilidade políticas, econômicas e sociais (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017).

Em vista disso, cabe a humanidade encontrar os meios de utilização sustentáveis dos recursos disponíveis na natureza e indispensáveis à existência da sociedade e isso só é possível por meio do estudo do sistema biofísico da natureza, ou seja, estudar a paisagem em suas formas e estruturas como portadora da sustentabilidade.

Vale destacar que o método dessa abordagem é a análise integrada da paisagem, logo, aborda o suporte estrutural, funcional, relacional, evolutivo e produtivo e antropogênico. Englobando os demais enfoques em seu corpo teórico e metodológico com a finalidade de desenvolver um planejamento/ordenamento do território, buscando conciliar a ação humana às capacidades e potencialidades do ambiente, respeitando-se a fragilidade do meio natural.

Nesse entendimento, verifica-se que os enfoques apresentados delineiam diferentes etapas procedimentais de uma pesquisa científica, abordando a inter-relação da paisagem em seus elementos biótico e abiótico, as sociedades atuantes e a construção do território.

Desse modo, conhecer os componentes geoecológicos que compõem a paisagem é o primeiro passo dado para um diagnóstico, visando desenvolver um planejamento enviesado na governança ambiental e na equidade social, pois permite conhecer as estruturas e as funcionalidades do sistema ambiental, seja em seus aspectos geoecológicos, seja no modo de como a sociedade se apropriou da superfície terrestre.

## 1.2 Concepções sobre o Território Geográfico

O território é uma das categorias de análise clássica da Geografia. Como a paisagem, conceitualmente, ele vem amadurecendo junto com o desenvolvimento do pensamento geográfico. Logo, aborda desde uma visão positivista, ligada ao Estado-nação, a derivações do termo em múltiplos contextos.

Na compreensão do território, Ratzel se destaca no período da Geografia Clássica. Já Gottmann e Raffestin trazem uma nova roupagem a partir dos anos de 1960-1970. Contribuições mais contemporâneas abordam a dinâmica do território e as territorialidades, mas sem desconsiderar a conotação clássica, indo mais além, onde o território é fluido em limites, ultrapassa o suporte terrestre, indo da esfera marítima a aérea e representando a diversidade social por meio da construção de relações de poder e identidades (SOUZA, 2000; 2018; HAESBAERT, 2004; 2007; MOINE 2005; 2006; SAQUET, 2007; 2008; 2010).

No Brasil, as contribuições acerca do território surgem com destaque na nova geografia, anos 1970, no viés crítico associado às relações de poder e dominação de base econômica e política; na corrente humanista, a partir das ligações de identidades e processos de construções dos múltiplos territórios; e na Geografia Física de base sistêmica, se destaca a discussão sobre o planejamento ambiental e ordenamento territorial.

Os autores de destaque na compreensão do território e as suas múltiplas interações são Bertrand e Bertrand (2007), Haesbaert (2004; 2007), Haesbaert e Ramos (2004), Mello-Théry (2011), Melo & Souza (2007) Melo & Souza e Barbosa (2011), Melo & Souza e Giudice (2009), Moine (2005; 2006), Saquet (2007; 2008; 2010), Souza (2000; 2018), entre outros autores de igual relevância.

O território enquanto conceito é estudado por várias ciências, mas na Geografia, especificamente, o conceito esteve ligado inicialmente, conforme reflexões de geógrafos nos anos 1960, às relações de poder na apropriação de uma determinada porção da superfície terrestre, reflexo da origem do termo no século XIX.

No início do século XIX, o termo território surge na Geografia Política com Ratzel (1982), entendido como um domínio do Estado-nação e suporte natural de um povo. Nas palavras do autor “[...] o Estado não é concebível sem território e sem fronteiras[...], sem um solo” (RATZEL, 2011, p. 93).

Ratzel (2011) tem por preferência fazer uso do termo solo em vez de território, pois o solo, em seu papel de habitat e produção de alimento, permite o desenvolvimento de uma nação, a qual o Estado deve governar e proteger. O referido autor é categórico na crítica aos estudos

da Sociologia que analisa o homem sem seus laços com a terra, pois para ele não se pode estudar o homem sem seu território sem considerar as condições territoriais da sociedade.

Dentro do momento histórico em que Ratzel estava inserido, no viés da Geografia Política, o território enquanto Estado-nação é entendido como uma base ecológica que deve ser protegida e governada e assim manter a segurança e a estabilidade da sociedade. Visto que “[...] um povo regride quando perde território [...]” porque é no território que existe a fontes da vida de um povo (RATZEL, 2011, p. 94).

Assim sendo, o solo, enquanto território, deve ser protegido e governado para dar condição à existência e ao desenvolvimento de um povo apresentando duas funções principais, nas palavras de Ratzel uma dupla necessidade: habitação e alimentação.

Por sua vez, Gotmann (2012), ao traçar o histórico sobre o conceito de território, apresenta alguns pontos em comum com à visão de Ratzel, entre eles: a formação do estado; a questão do território enquanto abrigo, fonte de recurso; e a questão da expansão do território (nesse ponto pode ser pela conquista de novos espaços ou através de relações políticas com outros territórios). Assim, Gotmann (2012) enfatiza que o território é apenas um dos pontos de vista do tamanho do Estado, pois também é importante considerar o tamanho da população, os recursos econômicos e a organização política.

Essa ligação do território enquanto entidade integrante da soberania do Estado-nação dura até o século XX, por volta dos anos 1960. Assim, a partir dos anos 1960/1970 se vê uma alteração de sentido, no dizer de Gotmann (2012, p. 530), “[...] o território mais importante como uma plataforma para oportunidade do que como abrigo para proteção”.

Por conta disso, essa mudança na definição e entendimento do território ocorrem de modo gradual em relação aos momentos históricos e aos processos de configuração e reconfiguração espacial, além da evolução das relações das sociedades com a natureza influenciadas pelo desenvolvimento tecnológico e pelas novas relações políticas, econômicas e sociais.

Atualmente, o território ainda é abordado na relação com o Estado, mas também apresenta dinâmica própria, perpassando desde as configurações multiescalares do ambiente urbano em sua complexidade às relações de identidades culturais e seus territórios ao uso do território para fins de planejamento e ordenamento.

Como Gotmann fez parte da transição ocorrida na discussão de território nos anos 1970, segundo ele, naquela época, “[...] o conceito está passando por uma modificação substancial que deve expressar alterações mais profundas que vêm ocorrendo nas questões da política”

(GOTMANN, 2012, p. 524). A mudança advertida pelo autor a respeito do conceito de território ultrapassava o campo da geografia ou geopolítica, destacando-se no direito jurista.

Desse modo, os anos entre 1960/1970 são marcados pela busca de uma (re)definição a respeito do território, não só para a Geografia, mas para as áreas do conhecimento que buscavam entender o que é o território, saindo das amarras de uma porção do espaço dominada pelas ações do Estado-nação. A esse ponto, as contribuições envolvem as áreas já referidas com amplos debates no campo da Sociologia e da Antropologia. Essas duas últimas dotaram boas contribuições para a geografia (HAESBAERT, 2004; 2007).

Em vista disso, Gotmann (2012, p. 523), apesar de advertir sobre a mudança no significado de território, traz uma definição sobre a influência da geografia política ao considerar o território como uma conexão ideal entre o espaço e a política. Já em uma concepção mais flexível e geográfica, o referido autor entende que o território pode ser definido como uma porção concreta e acessível do espaço geográfico às atividades humanas, ou seja, espaço repartido e organizado formando, assim, os territórios, que em teoria são limitados, mas podem ser modificados ao se expandirem, diminuir ou serem divididos. Sendo que a compartimentação e a organização se dão por meio de processos políticos.

Gotmann (2012) enfatiza que o conceito de território apresenta componentes materiais e psicológicos denominados por ele de “dispositivo *psicossomático*”: de necessidade para preservação da “[...] liberdade e da diversidade de comunidades separadas em um espaço acessível independente” [...], no qual é importante destacar a função social diante dos novos quadros econômicos e tecnológicos; de desigualdade, em que a circulação se estende, se intensifica e derruba fronteiras, “[...] as mentes dos homens se reagrupam segundo a lealdade aos sistemas de signos[...]”, sendo as duras fronteiras da atualidade aquelas da lealdade à fé ou à doutrina (GOTMANN, 2012, p. 543).

Com base nisso, observa-se que as contribuições de Gotmann, como um dos primeiros a abordar em profundidade as mudanças inerentes ao conceito de território e a sua evolução, levam em consideração os momentos históricos, as questões políticas atuantes, os processos econômicos vigentes e as questões culturais e psicológicas que fazem repercutir até as atuais discussões sobre o território e as derivações diretas: territorialização, territorialidade, des-territorialização e multiterritorialidades.

Por sua vez, na Geografia, precisa-se partir da noção de que o território foi pensado, definido e delimitado a partir das relações de poder, norteadas os estudos geográficos na perspectiva analítica vinculada à ideia do poder, servindo de artifício ideológico para a



expansão e para a dominação territorial sobre um espaço e os seus recursos, mas também revelado redes e tramas de identidade e pertencimento, poder simbólico e imaterial na apropriação do espaço geográfico (MELO & SOUZA, 2007; SAQUET, 2010; SOUZA, 2000; SUERTEGARAY, 2001;).

Por seu turno, a concepção de retórica tradicional do território, retomado nos anos de 1960/1970, procurava explicar a dominação social, a constituição e expansão do poderio do Estado-Nação, visto que esse exercia a soberania de controle e gestão do espaço (MELO & SOUZA; GIUDICE, 2009; SAQUET, 2010).

Já em 1980 o território se destaca como reflexos dos processos e das dinâmicas sociais decorrentes da década anterior como representativo dos movimentos sociais urbanos, esse fato se deve ao crescimento ocorrido nas cidades, em especial nas capitais e nas metrópoles. Por conta disso, a problemática urbana sobre a qualidade de vida, a justiça social, a violência e as desigualdades econômicas fazem do território urbano um elemento importante de reivindicações (SOUZA, 2000; VALVERDE, 2004).

Assim sendo, a menor autonomia do Estado sobre os sistemas econômicos, a mudança na dinâmica social e no processo de urbanização faz surgir novas interpretações do território enquanto produto de conflitos e contradições sociais do ambiente urbano: como área em disputa dividida entre o poder público e as organizações de grupos minoritários, territórios em rede, a questão cultural e identidades territoriais, entre outros. (SOUZA, 2000; VALVERDE, 2004; SAQUET, 2010).

Nesse sentido, a concepção do território para Raffestin (1993) compreende uma formação que se dá a partir do espaço, quando um ator (indivíduo ou grupo social) realiza uma ação direcionada a apropriação de espaço, concretamente ou abstratamente. Assim, é evidenciado a delimitação de um determinado espaço por e a partir das relações de poder exercidas na apropriação de uma área e os seus bens materiais e imateriais (RAFFESTIN, 1993).

Dessa maneira, o processo de apropriação de uma área se dá pela territorialização e pela territorialidade, para isso o indivíduo ou grupo social se apropria e domina ou influencia os aspectos geocológicos e os recursos de um espaço, formando assim territórios.

Ainda para Raffestin (1993), a compreensão do território é marcada pela mudança de compreensão dos anos entre 1980 e 1990, principalmente no tocante ao sistema territorial composto por elementos do espaço, na forma de superfície, pontos e linhas. Além do sistema de objetos, de ações e dos conhecimentos de práticas caracterizados nas relações econômicas,

políticas sociais e culturais, por meio da conexão de tessituras de nós e redes, refletem a produção do território.

Vale frisar que o referido autor é referência nos estudos da categoria território nas esferas científicas da década de 1990, no entanto, ele passou a ser criticado por geógrafos devido a concepção de espaço apresentada. Nesse ponto, Souza (2000, p. 96) diz que Raffestin comete o equívoco “[...] de “coisificar”, “reificar” o território ao incorporar ao conceito o próprio substrato material – vale dizer o espaço social”.

Nesse sentido, Souza (2000) compreende que Raffestin faz um reducionismo do espaço ao espaço natural e coloca o território na condição de espaço social. A esse respeito Haesbaert (2004, p. 81) retoma a crítica colocada por Souza, discordando desta ao advertir que é preciso “[...] uma leitura um pouco mais condescendente para com Raffestin, na medida em que, também para ele, espaço pode ser um “trunfo” e o território, “o campo de ação dos trunfos””.

Assim sendo, Souza (2000), em livro mais recente dedicado aos conceitos fundamentais da pesquisa socioespacial, reafirma que os “[...] autores clássicos “coisificam” o território rotineiramente, e havia, colaborado para isso, poderosos fatores ideológicos em jogo” (2018, p. 91). Essa ideia para Souza é confundir o território com um pedaço da superfície terrestre de modo arbitrário pelo pesquisador.

Para tanto, aqui, compreende-se que fazer uma análise crítica dos autores clássicos é necessário, pois isso permite vislumbrar as mudanças que aconteceram ao longo do tempo acerca dos conceitos científicos. Mas, também se faz necessário compreender o contexto histórico de cada momento da evolução do conceito, por esse motivo é preciso ser condescendente.

Nessa perspectiva, concorda-se com o conselho dado por Haesbaert (2004), não apenas em ser necessário ter condescendência, mas também, pelo seu entendimento abrangente e diversificador sobre o território, o qual é acompanhado pela história da categoria em discussão. Inclusive é possível verificar uma compatibilidade mais ampla entre as referências pioneiras em Haesbaert (2004; 2007; 2009) e na obra de Souza (2018).

Isso faz visualizar entre os trabalhos dos respectivos autores, em se tratando do território, pontos em comum, sendo importante as contribuições de Souza (2000; 2018) na discussão do território, na questão de ocupação do território por grupos sociais e na sua carga histórica geradora de raízes e identidades. O território, assim, é “campo de forças”, “teias ou redes de reações sociais”, com “complexidade interna” que define limites entre os grupos em seus membros (*insiders*) e os outros estranhos ao grupo (*outsiders*) (SOUZA, 2000, p. 86).

O referido autor é destaque e referência no estudo sobre a dinâmica territorial urbana e seus atores no movimento contínuo de construção, desconstrução e reconstrução do território em escalas temporais distintas (dia, semana, mês, etc), concebendo assim a territorialidade (fazer o território) e as territorialidades (tipos de territórios) que podem ser contínuas ou descontínuas. A essa conotação tem-se as contribuições de Haesbaert (2007):

Território, assim, em qualquer acepção, tem a ver com poder, mas não apenas ao tradicional “poder político”. Ele diz respeito tanto ao poder no sentido mais explícito, de dominação, quanto ao poder no sentido mais implícito ou simbólico, de apropriação (HAESBAERT, 2007, p. 20-21).

O território também compreendido enquanto “espaço-tempo vivido”, sempre múltiplo, diverso e complexo (HAESBAERT, 2007), mas também apresenta um caráter funcional, concreto. Nesse ponto, Haesbaert (2004, p. 95-96; 2007, p. 21) afirma que o território, imerso em relações de dominação e/ou apropriação, “[...] desdobra-se ao longo de um *continuum* que vai da dominação político-econômica mais ‘concreta’ e ‘funcional’ à apropriação mais subjetiva e/ou ‘cultural/simbólica’”.

Nesse sentido, território e territorialização, enquanto *continuum* imbuídos no processo de dominação e apropriação, “[...] devem ser trabalhados na multiplicidade de suas manifestações – que é também e, sobretudo, multiplicidade de poderes, neles incorporados através dos múltiplos sujeitos envolvidos [...]”, sujeitos de poder hegemônico ou poder de resistência (HAESBAERT, 2007, p. 22).

Sobre o território, Haesbaert (2004; 2007) depreende duas dinâmicas: a funcional e a simbólica. A primeira compreende um processo de dominação na formação de territórios da desigualdade, princípios da exclusividade (no seu extremo: unifuncionalidade) e território compreendido enquanto recurso, valor de troca – controle físico e produção. Já a dinâmica simbólica compreende processos de apropriação, formando diferenças territoriais ou territórios da diferença, princípio da multiplicidade (no seu extremo: múltiplas identidades), território como símbolo e de valor simbólico – abrigo, lar e segurança efetiva.

Assim, o território é apresentado em três perspectivas: materialista, por meio das concepções naturalista, econômica, tradição jurídico-política; idealista, envolvendo a questão cultural-simplifica; integradora, a qual compreende uma rede de relações na construção do território, um ponto de vista mais contemporâneo (HAESBAERT, 2004).

Um ponto interessante chamado a atenção por Haesbaert (2004, p. 58) é que “[...] o agravamento das questões ambientais certamente levará a uma valorização cada vez maior do controle de recursos, como a água ou os solos agricultáveis, o que pode gerar conflitos pelo

domínio territorial [...]”, com destaque para as áreas naturais nas quais os conflitos socioambientais já emergiram há tempos.

Na perspectiva idealista, o território compreende uma construção cultural e simbólica, a qual entra em discussão principalmente partir dos anos de 1980/90. Nesse entrelaçamento, boas contribuições são trazidas dos ramos da sociologia e da antropologia para o arsenal geográfico. Assim, a dimensão local passa a ter maior valorização na construção do território, reforçando as representações e os valores simbólicos (HAESBAERT, 2004).

Por sua vez, a perspectiva integradora compreende, de modo amplo, as questões contemporâneas, como a própria palavra já diz, integrando todas as perspectivas e concepções acerca do território em um campo de análise. Sendo assim, a partir de um ponto de vista mais pragmático, essa perspectiva aborda questões ligadas ao controle, a exemplo do ordenamento e da gestão do espaço, bem como das questões ambientais para se pensar o conceito de território (HAESBAERT, 2004).

Desse modo, essa perspectiva integradora abrange possíveis moldes no debate contemporâneo. Assim, é importante saber discernir sobre alguns entendimentos como territorialidade, múltiplos territórios e multiterritorialidade. Nesse diálogo, deve-se ter claro que o processo de territorialização é dinâmico, logo pode-se entender que a desterritorialização se faz junto com o processo de reterritorialização e des-re-territorialização.

Nesse sentido, a territorialidade é compreendida por Sack (1983) como um elemento do poder e “[...] uma estratégia para criar e manter grande parte do contexto geográfico através do qual nós experimentamos o mundo e o dotamos de significado”. Assim, diz respeito também às relações econômicas e culturais, pois está “[...] intimamente ligada aos modos de como as pessoas utilizam a terra, como elas próprias se organizam no espaço e dão significado ao lugar” (SACK, 1986, p. 219 apud HAESBAERT, 2007, p. 22).

Nesse entendimento, a territorialidade é “inovada e renovada” por meio de “um repertório de estratégias adaptativas que logram uma duradora coexistência com o meio ambiente” e as territorialidades são recriadas sobre o agir desses sujeitos tradicionais, “com/sobre o meio onde vivem, recriam seu cotidiano”, com a intenção de dar extensão ao “território apropriado e usado” (MELO & SOUZA, 2007, p. 184-185).

Na concepção dos múltiplos territórios, esses vêm romper com o dualismo existente entre a fixidez e a mobilidade e o território e a rede, no sentido de representar a multiplicidade essencial e necessária, embora não suficientes para que a multiterritorialidade se manifeste: “[...] dos “múltiplos territórios” do capitalismo entre território-zona mais tradicionais; e

território-rede mais envolvidos pela fluidez e a mobilidade” (HAESBAERT, 2007, p. 29). Aqui se faz destacar a importância dos sujeitos e os tipos de poder expressos para a criação das múltiplas territorialidades.

A multiplicidade territorial é necessária para se compreender a multiterritorialidade sobre a qual se vive há tempos, pois se revela na condição de conviver com a coexistência de vários territórios e/ou territorialidades ao mesmo tempo, um processo de territorialização que envolve o intercruzamento dos territórios em nível individual e de pequenos grupos (HAESBAERT, 2007).

Assim sendo, compreende-se, aqui, a possibilidade de intercruzamento de escalas manifestadas por diferentes tipos de vivências e expressões de poder em suas abrangências: casa, rua, bairro, cidade. Em uma visão mais tradicional ou primeira, a multiterritorialidade pode ser “resultante de uma sobreposição lógica de territórios, hierarquicamente articulados, “encaixados”” (HAESBAERT, 2007, p. 35).

Ressalta-se que diante das atuais relações sociais, em suas diferentes esferas (econômicas, políticas sócias e culturais), uma hierarquia vai além das escalas, compreendendo como a sociedade está organizada e como se dão os grupos de resistência, seja pelo seu espaço de convívio, seja pelas manifestações culturais e simbólicas. E nesse intercruzamento tem-se a dinâmica das atuais sociedades contemporâneas e seus elementos de globalidade.

Isto posto, o contexto traçado destaca o atual e complexo estágio da discussão contemporânea sobre o território diverso e múltiplo, que envolve ao mesmo tempo as dimensões econômicas, políticas, sociais e culturais em uma rede de intercruzamentos entre áreas, linhas, nós e poder em múltiplas escalas atuantes no espaço ao mesmo tempo.

A essa abordagem contemporânea, tem-se o território compreendido por Saquet (2010, p.24), o qual apresenta complexidade em sua abordagem por considerar as interações entre as dimensões sociais do território e com a natureza num processo histórico da dinâmica social. O território é apresentado através de múltiplos significados: “[...] natureza e sociedade; economia, política e cultura; ideia e matéria; identidade e representações; apropriação, dominação e controle; [...]; degradação e proteção ambiental; terra formas espaciais e relações de poder; diversidade e unidade” (SAQUET, 2010, p. 24).

Cada significado apresentado por Saquet (2007; 2008; 2010) revela, por si só, possíveis relações de territorialidade e sua dinâmica intrínseca, que podemos compreender como um território integrado. Por conta disso, fica evidente as diversas formas que o homem tem

representado em suas ações para dividir e se apropriar do espaço a partir de sua influência ou pelo seu poder de influenciar, mas também pelas suas relações materiais e imateriais.

Entretanto, vale salientar que o território também traz uma configuração que é revelada na paisagem. De acordo com Saquet (2010) e Souza e Passos (2009), o território se apresenta como condição para existência da paisagem, pois esse é o resultado de múltiplas determinações, de um espaço natural, social, historicamente organizado, que se estendem em determinados locais produzindo as paisagens. Por conta disso, o território e a paisagem vão refletir a construção processual da evolução da sociedade (MELO & SOUZA; BARBOZA, 2011).

Levando isso em consideração, pensar a questão territorial desenvolvida na Geografia é colocar em relevo as múltiplas relações sociais, políticas, econômicas, culturais e ambientais possíveis de serem desencadeadas sobre o espaço geográfico. Nesse ponto, indaga-se uma das principais preocupações atuais que envolve o planejamento e a gestão ambiental dessa multiplicidade de territórios.

Sobre essas questões, é importante compreender o território em sua perspectiva integrada e como um sistema complexo, como colocado por Moine (2005; 2006), para o qual, na atualidade, a análise do território deve integrar a diversidade e complexidade das dimensões sociais, políticas, econômicas e ambientais, considerando os usos territoriais baseados na participação cada vez mais ativa da população.

Desse modo, o território como um sistema complexo apresenta dinâmica resultante de um ciclo de retroalimentação entre um conjunto de atores e o espaço geográfico que eles desenvolvem e gerenciam por meio de três subsistemas bem definidos (MOINE, 2006):

- Os atores inter-relacionados em uma determinada área permitirão compreender as razões de um equilíbrio ou determinar uma estabilidade dinâmica do território;
- O espaço geográfico criado pelos atores, de acordo com o ambiente geográfico, que apresentam múltiplos objetos interativos: o ambiente geográfico em que os atores evoluem sobre as limitações ou facilidades naturais que interagem com os atores e influenciam a organização do espaço geográfico; o espaço antropizado constituído por todos os objetos antrópicos (redes, construções, homens, entre outros.); o espaço social, o das relações sociais entre indivíduos, grupos em estreita relação com o espaço político e institucionalizado em que as múltiplas relações são formalizadas;
- Os sistemas de representação (cultural, simbólica) que se baseiam na interligação entre três tipos de filtros: individual, social e ideológico.

A esse sistema complexo, o desafio apresentado por Moine (2005; 2006) é entender como os territórios são estruturados, funcionam e evoluem. Junto a essa preocupação sistêmica coloca-se a questão das políticas territoriais, as quais precisam levar em consideração as dinâmicas sociais, econômicas, culturais e ambientais que caracterizam sistema territorial.

Para isso, é importante compreender como o território está estruturado e organizado, levando em consideração as forças políticas e econômicas, como também a apropriação feita da superfície terrestre pela população, a distribuição dos elementos e equipamentos de uso social (naturais ou antrópicos) e as múltiplas relações com os territórios vizinhos.

### **1.3 Planejamento Ambiental na Interface Paisagem e Território**

O território contemporâneo revela as relações e ações sociais de apropriação e transformação das paisagens naturais durante o tempo histórico da humanidade, refletindo um contexto preocupante no tocante a qualidade e integridade ambiental da superfície terrestre. Em vista disso, o território passa a ser ponto central de preocupação dos ambientalistas desde o transcorrer dos anos de 1970, momento em que a humanidade passou a se preocupar com as problemáticas ambientais, intensificando-se nos anos 1980/1990 aos dias atuais.

Tal situação coloca em relevo a necessidade do planejado ambiental e/ou do ordenado territorial como possibilidade de adequar o modo de vida humana as potencialidades e fragilidades da natureza, de modo a visar o equilíbrio entre as relações econômicas, culturais e ambientais.

Na história humana, as políticas voltadas ao planejamento do território existem desde o fim da Segunda Guerra Mundial nos países desenvolvidos. Já no Brasil essa preocupação passa a se destacar com a Constituição Federal (1989) e as políticas territoriais voltadas ao ordenamento no decorrer do ano 2003.

Segundo Alves (2014), o âmbito acadêmico revela crescente interesse em compreender o papel que o Estado vem desempenhando diante das mudanças de caráter econômico, político, social e ideológico a partir das últimas décadas do século XX e início do século XXI.

Esses interesses refletem quais mudanças, no planejamento do território, se deram em um mundo em transição. Isto é, transformação na ação do estado e as necessidades sociais, econômicas, culturais e ambientais em que o ordenamento do território deve ser voltado ao uso equilibrado dos recursos ambientais, mas também a promover o desenvolvimento econômico, gerenciando as desigualdades socioespaciais existentes.

Segundo Mello-Théry (2011) as primeiras políticas públicas dedicadas ao meio ambiente ocorreram entre 1930 e 1971, foram elas: o Código das Águas, das Minas, das Florestas e da Pesca, as quais buscavam definir as regras para uso e gerenciamento dos recursos naturais.

Em 1950, durante o governo de Juscelino Kubitschek, o plano de metas orientou o estado ao desenvolvimento rápido e à integração das grandes regiões, visando a modernização do país pelas políticas regionais e pelas superintendências de desenvolvimento regional. Em 1962 surge a primeira tentativa de um planejamento integrado com a elaboração do plano trienal, no governo de Goulart, o qual estabelecia ações inter-relacionadas entre os diferentes setores da administração pública, no entanto, soterrado pelo Golpe Militar (MORAES, 1994).

O governo militar, com vista à modernização e centralização do poder na esfera Federal, planejava desenvolver uma série de ações voltadas a um planejamento do tipo global e integrado iniciados com o plano de ação econômica em 1964. Quatro anos depois é criado o plano de desenvolvimento econômico, mas é em 1970 que se vê uma iniciativa mais completa com o plano nacional de desenvolvimento (MORAES, 1994).

Entre os anos de 1972 e 1987, sobre influência e controle estatal e em busca de uma estrutura do sistema ambiental, teve a aprovação da Política Nacional do Meio Ambiente (1981) que estabeleceu a necessidade de se ter licenciamento para atividades poluidoras e estudos de impactos ambientais (MELLO-THÉRY, 2011; MORAES, 1994). Política desenvolvida no bojo das mudanças de paradigmas dos movimentos ambientais no Brasil.

Moraes (1994) aponta que o plano nacional de desenvolvimento sobre um governo autoritário com um planejamento autocrático e hipercentralizado surgiu das primeiras tentativas voltadas ao ordenamento do território nacional através de infraestrutura, formação de recursos humanos e criação de órgãos e programas de interesse das áreas prioritárias e estratégicas.

Apesar dos setores estatais se encontrarem desarticulados, isso não podia ocorrer no setor ambiental. Em vista disso se vê a ausência de articulação entre os setores de planejamento e de desenvolvimento, mas a questão ambiental requer, enquanto campo de atuação no planejamento e criação de políticas públicas, amplo diálogo e articulação entre as diversas esferas do setor público e privado, bem como nos diversos setores do governo em suas escalas federais, regionais, estaduais e municipais (MORAES, 1994).

Assim sendo, a integração necessária ao campo ambiental faz-se por meio da organização entre as políticas nacionais do meio ambiente e as políticas territoriais, os quais têm por objetivo “[...] cuidar dos bens comuns, por que se entende que o meio ambiente é um



bem público a ser assegurado para o uso coletivo, por isso deve ser sujeito da ação do Estado” (MELLO-THÉRY, 2011, p. 27).

Nesse cenário se vê três tipos principais de políticas no Brasil: econômicas, sociais e territoriais. Essa última cabe também as políticas ambientais com responsabilidade de produzir o espaço, de acordo com Moraes (1994) e Mello-Théry (2011), políticas espaciais devido a espacialização das mesmas.

Nesse sentido, a produção territorial que visa as questões econômicas, as sociais, as ambientais, as de planejamento, a de articulação, a de escala, a de ordenamento e a de qualidade de vida são preocupações essenciais a esse grupo de políticas. Além disso, essa produção territorial exige o desenvolvimento de uma gestão ambiental que compreenda o território enquanto suporte físico, como também se torna imprescindível que o território seja compreendido junto às acepções “[...] simbólica, representando a insígnia da soberania de uma nação; concreta, como suporte físico, objeto de planejamento; ou ainda como um artifício, uma categoria de análise” (MELLO-THÉRY, 2011, p. 25).

Essas acepções devem ser apresentadas dentro de um complexo sistema territorial, no qual os atores sociais em suas ações cotidianas constroem as territorialidades, onde o meio ambiente é palco da sociedade; é fonte de recursos naturais; revela os elos que constroem e organizam o território; reflete a paisagem em sua condição natural (elementos dinâmicos, essências de uso e necessários à conservação) e representações culturais na configuração dos elementos da natureza.

Diante dessa complexidade, na emergência ambiental do século XXI, o planejamento e a gestão ambiental do território se fazem indispensáveis. Visto que as políticas ambientais buscam associar o contexto antrópico (economia, cultura, política, lazer) ao ambiental (preservação e conservação de áreas potenciais na prestação de serviços ecossistêmicos) dentro de um território sistêmico (ações de poder, apropriação e dominação, em uma múltipla rede de relações econômicas, culturais, políticas e ambientais) em diferentes níveis escalares.

O que coloca os termos meio ambiente e território, política e sociedade, poder e Estado intrinsecamente interligados, sendo necessário “[...] compreender os nexos entre poder, ambiente e território implica em discernir como a sociedade e Estado reagem a crise advinda de esgotamento dos recursos naturais e como recebem a gestão dos problemas ambientais” (MELLO-THÉRY, 2011, p. 25).

Nessa perspectiva, o Estado, enquanto responsável pelas políticas públicas, deve procurar, cada vez mais, resolver as emergentes questões ambientais pela gestão ambiental do

território, com vistas um planejamento adequado a cobertura da Terra, preocupado com as relações sociais que configuram e organizam o espaço, constroem territorialidades e o complexo sistema territorial.

Pois como colocado por Mello-Théry (2011), a gestão ambiental se faz na gestão do território, priorizando os elementos naturais necessários à vida e também à sua conservação, considerados bens comum para a sociedade, sendo responsabilidade do Estado e em função da população. Assim, os desafios são institucionais, técnicos, políticos e territoriais, principalmente.

Ainda sobre a Gestão ambiental, essa se faz em diferentes escalas (federais, regionais, estaduais e locais) em que o aparato legal faz surgir contradições e conflitos, visto que nem sempre as necessidades locais são priorizadas nos níveis de diretrizes federais e regionais. Ao Estado cabe o papel de conciliador ou de encontrar o meio viável entre estas escalas, uma ampla e a outra específica.

Além disso, a gestão do ambiente deve ser feita em conjunto com planejamento ambiental, territorial, ecológico, conservacionista, entre outros. Visto que se faz necessário conhecimentos aprofundados sobre os aspectos físicos-naturais e socioambientais para se poder traçar um planejamento e a partir desses se pensar a gestão. No caso em destaque, a gestão ambiental do território integrada ao planejamento ambiental.

Rodriguez e Silva (2018) abordam que foi devido às preocupações de cientistas e especialistas com as problemáticas ambientais, de como gerir racionalmente o processo de ocupação da superfície terrestre e a assimilação do suporte natural aos impactos antrópicos que fez surgir a noção de planejamento e gestão ambiental.

Como abordado, existe uma diversidade de Planejamento ambiental, mas no Brasil o mais comum é pautado no ordenamento do território por meio de políticas públicas com essa finalidade, visto que o termo gerir reflete em ordenar/organizar algo (MELLO-THÉRY, 2011; MORAES, 1994). De acordo com Mello-Théry (2011, p. 39) “[...] representa um caminho de redução das pressões antrópicas sobre o meio ambiente, uma exigência contemporânea”.

Desse modo, o ordenamento territorial deve compreender o sistema territorial complexo dentro da perspectiva integradora de ações, de conflitos e de recursos ambientais, se fazendo necessário reconhecer a base física, os recursos naturais presentes, as prioridades para uso e para conservação. Além das derivações antropogênicas em seu processo histórico, as culturas e as identidades dos territórios no fazer e no refazer das territorialidades. Ademais, também exige técnicas e procedimentos específicos.

Na literatura, vários autores debatem a respeito de como o processo de ordenamento deve ser realizado, tendo como pontos em comum: compreender o que é o território, sua construção teórica e metodológica, geografia ou de áreas afins; conhecer a área por meio de atividade campo, diagnóstico dos recursos naturais, socioculturais e econômicos.

Para Gómez Orea e Gómez (2012) e Gómez (2012), ordenar o território é mais do que uma simples tarefa, é a atividade de configurar e planejar o sistema territorial. O que reflete a ação humana sobre a natureza. Logo, é importante pensar a ordenação em relação à estrutura e ao funcionamento da paisagem, à construção de cenários mediante a atual realidade vivenciada pelos atores sociais, econômicos, culturais e políticos.

Assim, se faz fundamental ter metas e objetivos claros sobre os usos potenciais e equilibrados com o quadro natural, com vistas à sustentabilidade, de modo a levar a gestão discernir os pontos essenciais, considerando a paisagem que se destaca por seu valor socioeconômico, cultural e ambiental (GÓMEZ OREA; GÓMEZ, 2012).

Diante disso, não se pode deixar de lado o fato que a paisagem ocupa amplo campo de debate no planejamento e na ordenação do território. Às vezes se faz por meio quantitativo, com finalidade de quantificar as alterações feita na construção do território, mas também se faz uso da paisagem em sua condição qualitativa de representatividade de um povo, dos elementos da natureza, com valores agregados que devem ser ressaltados no processo de ordenação.

Ademais, o território reflete o modo como “[...] o espaço geográfico é construído e vivido pelas sociedades sucessivas[...]” representando valores na sua dimensão histórica, costumes e tradições arqueológicas e ecológicas, em seus aspectos e riquezas presentes no ambiente, compreendendo da condição natural às situações de áreas antrópicas (BERTRAND; BERTRAND, 2007, p. 119).

Nas palavras de Bertrand e Bertrand (2007, p. 191), a “[...] paisagem nasce quando um olhar percorre o território [...]. Ela é a expressão do trabalho da sociedade humana sobre a natureza [...], então não é apreendida fora de sua dimensão histórica e de seu valor patrimonial [...]”. Logo, denota importância interdisciplinar de relevância para o planejamento e gestão ambiental do território, que deve levar em conta a construção histórica da paisagem na dimensão natural e social, das relações humanas que a configura e nela se faz representar.

Nessa discussão é importante ressaltar que o planejamento e/ou o ordenamento do território é função da administração pública e de suas políticas territoriais, como previsto na legislação. O que se faz em três fases complementares: diagnóstico do sistema territorial; plano de ações importantes a serem introduzidas ou restritas ao território; e por fim, a gestão dos

recursos naturais e sociais. Tudo por meio de uma abordagem científica, técnica e tecnológica com base na participação pública e na coordenação de interesses socioeconômicos (GÓMEZ OREA; GÓMEZ, 2012).

No contexto geográfico o ordenamento territorial é abordado por diferentes interesses. Alguns enfatizaram mais as questões sociais em que o ordenamento se faz no espaço socialmente construído no qual o indivíduo é parte integrante de sua própria produção, como abordado em Melo (2010). O referido autor, bem como Gómez Orea e Gómez (2012) trazem em questão a importante relação entre realizar o ordenamento com vista à sustentabilidade ambiental e para a sociedade.

Diante da atual questão ambiental, se entende que planejar e ordenar é necessário para todos territórios, seja na intenção de direcionar quais as atividades econômicas e humanas mais adequadas, seja para indicar os locais que precisam ser conservados ou até mesmo preservados perante as riquezas ínfimas e ameaçadas de extinção.

Em outra perspectiva, Alves (2014) destaca a importância de se pensar o ordenamento territorial a partir das culturas presentes no território, em que o ordenamento territorial deve buscar “[...] compreender-identificar a importância de elementos endógenos na formação de planos locais, os quais “as identidades locais adquirem relevo, consistindo em elemento que pode modificar, por completo, o planejado para o futuro de determinado território” (ALVES, 2014. p. 69).

Além disso, é necessário pensar o ordenamento e o planejamento ambiental a partir das diferentes escalas de abrangência (federal, regional, estadual e municipal) e conceder o necessário valor às culturas presentes no território e às suas práticas tradicionais que são reveladas nas paisagens naturais e culturais. A partir de então, por meio das políticas públicas, planejar ações coerentes com as territorialidades dos atores sociais que organizam e dão vida ao território e suas paisagens.

Vale frisar que o ordenamento ocorre também pelas questões ambientais em nível global. Segundo Haesbaert (2007, p. 51) “[...] uma nova identidade sócio-territorial, também planetária, torna-se imprescindível [...], a consciência global dos problemas (ecológicos, político-militares, econômicos, médico-sanitários...) pode constituir um primeiro passo”.

Emerge dessa esfera a necessidade de se realizar uma gestão ambiental pelos mecanismos de governança, como colocado por Ferrão (2010). Dessa forma, exige-se uma visão estratégica e colaborativa entre as políticas públicas para se realizar o ordenamento do e/ou o planejamento territorial, a “[...] governação que pressupõem uma maior cooperação entre

actores e uma melhor coordenação entre políticas, tanto de base territorial como sectorial” (FERRÃO, 2010, p. 137). Nesse sentido, o autor faz refletir sobre uma governança territorial eficiente, justa e democrática para todos os grupos sociais.

Nesse contexto, vale destacar que Rodriguez e Silva (2018) compreendem que o planejamento ambiental deve ser pensado a partir do uso da natureza e a sua relação com todos os componentes que fazem parte do meio ambiente. Para isso os autores propõem uma forma de planejamento integradora pautada na paisagem e embasada pela geoecologia.

Rodriguez e Silva (2018), abordam que “[...] o planejamento da paisagem é, portanto, uma forma eficaz de pensar para um nível mais complexo de integração, o de planejamento territorial, e exercer de forma plenamente adequada as exigências atuais dos conhecimentos científicos e técnicos” (RODRIGUEZ; SILVA, 2018, p. 313-314).

Além disso, o planejamento baseado na paisagem reflete a tentativa de se construir cenários que busquem incorporar a sustentabilidade no processo de desenvolvimento (RODRIGUEZ; SILVA, 2018), precisando estar conectado às necessidades de conservação e gestão do ambiente.

Diante do apresentado, o ordenamento e/ou planejamento ambiental deve levar em consideração as interações entre o território e a paisagem. Um modelo para além das preocupações políticas e legislativas, no qual se vê a história e construção social do território sem esquecer que nele está o suporte essencial da vida (todo tipo de vida e os elementos abióticos), a paisagem natural, base dos recursos essenciais à existência do agora e das gerações futuras.

Logo, o planejamento ambiental deve ocorrer na interface do sistema territorial e da paisagem, onde requer pensar a complexa rede de razões sociais, econômicas, políticas, culturais/simbólicas e ambientais. É necessário entender que o meio no qual a humanidade está inserida também compreende a biodiversidade e a geodiversidade que necessitam ser conservadas, pois delas emergem serviços essenciais para a manutenção da vida sobre a superfície terrestre.

### 1.3.1 Planejamento Conservacionistas no Contexto de Bacia Hidrográfica

Perante o referencial teórico apresentado nos tópicos desse capítulo e a intenção principal da tese, aqui buscar-se-á apresentar o viés de planejamento ambiental conservacionista a ser adotado para a área de estudo, uma bacia hidrográfica semiárida. Assim, as reflexões acerca da paisagem, da geoecologia, do território e do planejamento ambiental dão o suporte teórico e metodológico necessário a efetivação da presente pesquisa.

Nesse entendimento, torna-se essencial conhecer os componentes que configuram a paisagem, os quais na literatura são apresentados como caracterização geoecológica, ambiental, geoambiental ou do meio físico (BARBOSA, *et al.* 2016; BELTRAME, 1994; BOTELHO, 2015; GUEDES; MEDEIROS; COSTA, 2016; MEZZUMO, 2013; MEZZUMO; GHISSE; CAMPOS, 2014). Buscando revelar, dessa forma, as relações sistêmicas que dão dinâmica e vida a paisagem através da interação entre os componentes climáticos, geológicos, pedológicos, geomorfológicos, hidrológicos e fitogeográficos.

A caracterização desses aspectos geoecológicos compreende a apresentação dos componentes estruturantes da paisagem em seus aspectos físicos e antrópicos, ou seja, uma das primeiras etapas dos estudos que “[...] tem a paisagem como categoria de análise dentro da abordagem sistêmica [...]”, buscando obter resultados com a finalidade de planejamento e gestão ambiental (MEZZUMO, 2013, p. 18). Logo, segundo Mezzumo (2013) compreende uma fase que fornece informações básicas sobre o suporte, a cobertura e a dinâmica paisagística.

Somada as especificidades geoecológicas, é essencial conhecer a cobertura da terra, a qual compreende componentes naturais e/ou artificiais que recobrem a superfície terrestre, e os usos antrópicos, ou seja, as atividades humanas desenvolvidas no ambiente (ANDERSON *et al.*, 1976). É por meio das atividades de apropriação e transformação na natureza que a sociedade constrói os múltiplos sistemas territoriais.

Nesse contexto, observa-se na literatura que o ambiente semiárido, no geral, tem mantido um padrão na cobertura da terra nos últimos anos, compreendendo áreas de vegetação natural em redução, áreas antrópicas agrícolas e degradadas em expansão e massas d’água (ACCIOLY *et al.*, 2016; COELHO *et al.*, 2014; FARIAS; SILVA; RODRIGUEZ, 2013; FERNANDES *et al.*, 2015; SILVA, 2017; VIEIRA *et al.*, 2013).

Esse padrão na superfície terrestre do semiárido repercute nas bacias hidrográficas existentes, a exemplo da bacia do Rio Ipanema (SILVA, 2017) na qual está inserida a bacia do Riacho São José, ou seja, área estudada na presente tese. Logo, observa-se ser fundamental o

conhecimento do meio físico e socioambiental das bacias ou outros ambientes estudados com a finalidade de propor um planejamento ambiental.

Assim, entende-se que conhecer e sistematizar a estrutura paisagística, pela caracterização geoecológica, e a construção do território, através da cobertura e apropriação da terra, formam os primeiros passos no desenvolvimento do planejamento ambiental. Diante disso, observa-se a existência de inúmeros instrumentos que podem ser utilizados no planejamento e gestão do território e da paisagem, a exemplo: o zoneamento econômico-ecológico; o estudo de Pressão Impactos Estado e Resposta (PIER) por meio de indicadores; planejamento e gestão de bacias hidrográficas; plano de manejo e planos diretores; análise de riscos e avaliação ambiental estratégica (MELLO-THÉRY, 2011).

Além desses instrumentos, na literatura existem diferentes tipos de planejamento ambiental, a exemplo: o conservacionista, o ecológico, para uso do solo, para ordenamento territorial, para gestão ambiental, entre outros. Porém cada um desses apresenta objetivos específicos (BOTELHO, 2015; RODRIGUEZ; SILVA, 2018).

Situação que coloca o planejamento ambiental como sendo, cada vez mais, utilizado por profissionais que trabalham com o meio. No entanto, conceitualmente, o termo é utilizado de forma abrangente e apresenta diversas visões, permitindo que o termo seja “[...] utilizado para definir todo e qualquer projeto de planejamento de uma determinada área que leve em consideração fatores físicos-naturais e sócio-econômicos para avaliação das possibilidades de uso do território e/ou dos recursos naturais” (BOTELHO, 2015, p. 274).

Diante dessas possibilidades, é preciso refletir dentro da realidade vivenciada, a qual reflete degradantes modos de apropriação do semiárido, fato negligenciado por muito tempo (MMA, 2019). Logo, o planejamento ambiental para essa região deve ser pautado na relação entre a conservação da paisagem e o desenvolvimento territorial, pois a região semiárida do Nordeste brasileiro é a mais povoada do mundo (AB’SABER, 2003; COUTINHO, 2016).

Em vista do apresentado, o planejamento ambiental do ambiente semiárido deve ser pensado a partir da paisagem, do território e da necessidade de conservação ambiental, com destaque ao componente vegetal, o mais sensível e visível na superfície terrestre. E se tratando de uma bacia hidrográfica, se faz importante conhecer sua organização, relações intrínsecas e conceitos fundamentais.

Na literatura, entende-se a bacia hidrográfica ou bacia de drenagem como uma área delimitada a partir de cotas altimétricas, divisores d’água, compondo toda superfície drenada por um rio principal e seus tributários, ou seja, formando um sistema fluvial (BOTELHO, 2015;

CHRISTOFOLRTTI, 1980; STEVAUX; LATRUBESSE, 2017). Devido as suas características, delimitadas por critérios geomorfológicos, as bacias são tidas como unidades ideais para o planejamento, compondo um espaço aberto de interações sistêmicas entre o meio físico e os aspectos socioambientais, as derivações antropogênicas, que ocorrem na superfície (BOTELHO, 2015).

Nesse contexto, é importante entender a dinâmica diferenciada que caracteriza os atributos hidrográficos do semiárido, perante o quando natural e condicionantes climáticos. Onde a hidrologia é dependente do ritmo climático sazonal, situação que coloca os cursos hídricos intermitentes e/ou efêmeros, de modo que a população é levada a escavar nos leitos dos rios poços para ter acesso a água para fins domésticos, pois “[...] o lençol se afunda e se resseca e os rios passam a alimentar o lençol” (AB’SÁBER, 2003, p. 85).

Revela-se ainda que as bacias semiáridas não apresentam aspectos hidroclimáticos homogêneos, compreendendo diferentes nuances geográficas, as quais são apresentadas em Ab’Sáber (2003) como semiáridas acentuadas ou subdesérticas, semiáridas rústicas ou típicas, semiáridas moderadas e faixas subúmidas. Essa última compreende a faixa de transição, conhecida também como agreste, em específico no estado de Pernambuco a região Agreste compreende, faixa de transição entre zona da mata e sertão, envolve parte do semiárido moderado e das faixas subúmidas.

Nesse contexto, a bacia hidrográfica deve ser compreendida como uma unidade de planejamento e gestão, a qual comporta as interações do quadro natural e relações complexas que envolve os aspectos sociais, econômicos, culturais e políticos, logo se faz necessário a realização de uma análise integrada desses elementos (LIMA; FONTES, 2009).

Assim sendo, o arcabouço teórico no estudo geográfico com fins ao planejamento ambiental é apoiado nas tecnologias da informação, campo de atuação do geógrafo no diagnóstico do meio ambiente, entendendo as bacias hidrográficas como unidade de planejamento, sobre as quais se faz o diagnóstico das condições ambientais do território, de modo a trazer proposta concretas de gestão ambiental (RODRIGUEZ; SILVA, 2018; ROSS, 2009; ROSS; PRETTE, 1998).

No tocante a Geografia, essa em sua construção científica constituiu um arcabouço teórico e metodológico capaz de fornecer informações e análise que permitem “elevado grau de eficiência” (ROSS, 2009, p. 198). Além do mais, a preocupação com as questões ambientais emerge na história junto ao desenvolvimento da informática, nesse contexto o profissional em Geografia incorpora na sua prática “[...] as novas tecnologias, que auxiliam no melhor



entendimento dos ambientes físicos, e das relações que estes mantêm com as questões humanas, bem como na relação interdisciplinar com profissionais de outras áreas” (AQUINO; VALLADARES, 2013, p. 118).

Para esse fim prático, é importante compreender que planejamento ambiental conservacionista, vislumbrado para os cenários futuros dessa pesquisa, prioriza “[...] a utilização racional e a preservação dos recursos naturais” com finalidade de usos antrópicos (BOTELHO, 2015, p. 275). Logo, é essencial conhecer as capacidades e limitações dos componentes geoecológicos sobre os quais se pretende desenvolver o planejamento.

Na literatura, o termo planejamento conservacionista está associada as preocupações ambientais perante os padrões de apropriação da terra e utilização dos recursos naturais (BRUNETTO, 1997; PEREIRA; LIMA, 2006; TORRES, 2006). Pois, a busca por produtividade se dá através da expansão das áreas agrícolas, o que tem aumentando os processos de degradação dos recursos naturais (principalmente do componente vegetal) “[...] devido as frequentes alterações não planejadas no uso da terra, acima da capacidade de suporte do solo” (TORRES, 2006, p. 151).

Tais aspectos colocam em realce a necessidade de traçar o planejamento ambiental conservacionista, no qual busca-se indicar as possibilidades de usos antrópicos dos recursos naturais priorizando a racionalidade ambiental, ou seja, sem destruir a qualidade ambiental, as funções ecológicas e a prestação de serviços ambientais e ecossistêmicos. Assim, utiliza-se técnicas, tecnologias, práticas e procedimentos que deverão “[...] respeitar e promover a manutenção do equilíbrio ecológico em todos os níveis na propriedade, para que não sejam comprometidos ou degradados qualquer dos recursos naturais [...]” (BRUNETTO, 1997, p. 22).

Assim, o planejamento ambiental conservacionista reflete na utilização dos recursos biológicos e físicos das bacias hidrográficas de modo sustentável, de forma a preservar o funcionamento ambiental do sistema hidrográfico não causando alterações que impactem negativamente no ambiente (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

Diante do contexto apresentado, a paisagem e o sistema territorial devem ser planejados levando-se em consideração os aspectos físico-naturais e as questões socioeconômicas dentro de uma gestão ambiental contínua, ou seja, que visem os modos mais adequados de uso e a cobertura de terra em relação às possibilidades do ambiente semiárido, à prestação de serviços ecossistêmicos e à dinâmica geoecológica.

Perante tais questões, observa-se na literatura que as bacias estudadas pelas perspectivas da geoecologia da paisagem contemplam pesquisas voltadas ao planejamento

ambiental, para isso busca-se conhecer o funcionamento e as características física-naturais e socioambientais das mesmas. Sendo comum a apresentação de compartimentação para desenvolvimento do diagnóstico, destacando o estado ambiental da paisagem, seguido da proposta de planejamento (FARIAS, 2015; 2020; FARIAS, SILVA; NASCIMENTO, 2015; NASCIMENTO; FARIAS, 2016).

Nas palavras de Farias (2020, p. 24), a grosso modo, a Geoecologia aplicadas em bacias hidrográficas pode seguir os seguintes passos: “1. Levantamento dos condicionantes ambientais; 2. Caracterização dos aspectos socioeconômicos; 3. Compartimentação ambiental; 4. Identificação de impactos ambientais; 5. Caracterização do estado ambiental; e 6. Proposições de planejamento”.

Nesses passos, a compartimentação da paisagem ajuda a delinear as diferentes feições identificáveis na superfície terrestre, contribuindo com a realização de diagnósticos direcionados as unidades paisagísticas e auxiliando no desenvolvimento de ações de planejamento ambiental voltadas para a conservação dos recursos naturais (FARIAS, SILVA, 2015). Assim, para cada unidade pode-se estabelecer diretrizes, metas e normas de modo a buscar garantir a eficácia na recuperação, conservação e proteção dos recursos hídricos (DIBIESO, 2013).

Tais observações, no contexto geoecológico, trazem em relevo a importância de se estudar as bacias hidrográficas na perspectiva integrada, compreendendo esses ambientes em sua totalidade (físico-natural e social), respeitando as limitações ambientais e atentando as potencialidades socioambientais. Tais informações, que integram a dinâmica geoecológica desses sistemas fluviais, revelam a necessidade de se pensar os modos de apropriação e transformação da superfície terrestre no contexto do planejamento ambiental conservacionista, considerando as paisagens pretéritas, atuais e futuras.

---

**CAPÍTULO II**  
**DELINEAMENTO METODOLÓGICO DA TESE**

---

## **2 DELINEAMENTO METODOLÓGICO DA TESE**

De modo geral o presente capítulo dedica-se a apresentar o caminho metodológicos trilhado para construção da tese intitulada Dinâmica Geoecológica e Cenários Potencias para Conservação da Paisagem Semiárida na Bacia do Riacho São José em Pernambuco. E como compreende uma pesquisa delineada pela Geografia Física Aplicada, a abordagem metodológica adotada é a teoria geral dos sistemas, por meio da análise integrada da paisagem.

Assim, primeiro aborda-se um pouco da escolha metódica para a tese e os níveis da pesquisa, adaptadas da proposta de Libault (1971). Em seguida apresenta-se o recorte espacial e temporal adota para a realização da pesquisa, destacando o enquadramento da bacia do Riacho São José perante sua contribuição para bacias integrantes.

Tendo apresentado o método e recorte espacial, traz-se a construção da base de dados e em tópicos específicos, de forma sequencial aos objetivos, discorre-se sobre os procedimentos técnicos realizadas para cada capítulo.

### **2.1 Abordagem Metodológica da Pesquisa**

No âmbito da Geografia Física Aplicada, atualmente existe uma gama de metodologias disponíveis, mas cabe ao pesquisador refletir sobre quais procedimentos se adéquam à sua intenção de estudo, às possibilidades de tempo e aos recursos tecnológicos e financeiros disponíveis para a efetivação da pesquisa almejada.

Assim sendo, tais observações são de suma importância para o iniciar de uma pesquisa geográfica ou de outras áreas afins, levando-se em consideração a realidade da estrutura e a funcionalidade física e social do ambiente a ser investigado.

Em vista disso, na presente tese, adotou-se o método hipotético-dedutivo desenvolvido por Karl Popper, pois, por meio da observação cuidadosa, pode-se entender os postulados que governam os fenômenos estudados, inferir as consequências através da experimentação e verificar o possível falseamento (POPPER, 2002). Logo, é necessário o desenvolvimento de observações sobre o fenômeno estudado a partir de problemas concretos e da elaboração da hipótese a ser testada e validada (GIL, 2008).

De acordo com Gil (2008, p.13), “o método hipotético-dedutivo goza de notável aceitação, sobretudo no campo das ciências naturais”, além de ser amplamente utilizado na Geografia Física. A esse respeito, Diniz (2015, p. 111) observa que “[...] o método hipotético-dedutivo é muito útil às pesquisas geográficas, por conta disso, faz-se necessário levantar entre

os geógrafos, professores e estudantes de Geografia um maior debate acerca do domínio e das possibilidades de uso deste método”.

Embasada no referido método, a presente pesquisa está alicerçada na análise integrada da paisagem, visto que os estudos são voltados ao entendimento da integração dos elementos que compõem a paisagem e permitem desenvolver uma leitura de cunho geográfico. Além do mais, a abordagem integrativa é tradição nas pesquisas de cunho geográfico e nas suas aplicações em diversas áreas de atuação da Geografia Física.

Partindo desse pressuposto, vale lembrar que a análise integrada da paisagem tem origem na discussão sobre a ciência da paisagem, quando seus fundadores procuram analisar o ambiente a partir das interações dos elementos e da preocupação vista nas investigações realizadas por Dokucháyev nos anos de 1930, no intuito entender a relação solo-vegetação (PASSOS, 2003).

Por conta disso, entende-se que as relações estabelecidas a partir do “[...] trinômio clima-solo-planta é um dos aspectos mais relevantes na análise integrada de paisagens” (JATOBÁ; SILVA, 2017, p. 50). Além desses exemplos, Tricart (1981, p. 12) evidencia que “[...] a paisagem reflete o funcionamento dos ecossistemas” por meio das interações entre os elementos geoecológicos. No Brasil, Tricat (1977) realizou o estudo da ecodinâmica, revelando a relação ecologia e geografia por meio de uma abordagem integrada.

Com o passar do tempo, principalmente com o desenvolvimento da Geoecologia por Troll, a geografia incorporou em seus estudos algumas das bases reflexivas da ecologia. Em 1960, na relação estabelecida entre geografia e ecologia, foi desenvolvido o entendimento de geossistema por Sochava. Esse entendimento representa a esfera de interação entre a natureza animada e inanimada, entendendo a ecologia da paisagem como abordagem útil no estudo de geossistema e investigação de regimes naturais, os quais são entendidos como a força motriz do processo físico-geográfico (SOCHAVA, 1970; 1971; SOCHAVA; KRAUKLIS; SNYTKO 1975).

Posteriormente, Bertrand (2004) e Bertrand e Bertrand (2007) aprimoram o desenvolvimento do geossistema ao incorporar o fator antrópico com agente integrante da paisagem, estabelecendo relações dialéticas entre o potencial ecológico, a exploração biológica e a ação antrópica.

Nessa busca da integração entre os elementos geoecológicos (geologia, solo, relevo, clima e vegetação) e a (inter)ação antrópica, a análise da paisagem repercute na compreensão dinâmica entre os componentes que estão em constante interação e mudanças e que a sociedade

configura, a depender das relações e interesses implementados, em territórios diversos. De acordo com Passos (2003) e Melo & Souza e Barbosa (2011), os territórios se tornam condição para existência da paisagem atual. Assertiva que subsidia Bertrand e Bertrand (2007) na busca da integração entre Geossistema, Território e Paisagem (GTP).

Vale mencionar que o sistema territorial evidencia as diferentes maneiras de apropriação, de uso e de ocupação da terra originada a partir das relações de influência das classes sociais e as suas identidades sobre o substrato material. Isso, nas palavras de Berque (1998), reflete na paisagem enquanto marca, referindo-se a expressão de uma civilização e uma matriz. Além de gerar uma alusão à participação do esquema de percepção, concepção e ações em relação ao espaço e a natureza.

A paisagem, categoria importante na análise integrada, permite apreender, de modo geral, a síntese da relação sociedade e natureza em uma dinâmica sucessiva de ordem natural e antrópica no modelamento e remodelamento do território em diferentes esboços paisagísticos.

Acerca da paisagem, Capdevila (1981) denota a complexidade contida nessa categoria, por conta disso, faz-se necessário apreendê-la enquanto sistema, o que confere um adicional à leitura integrada de cunho metodológico na Geografia. Nesse sentido, a paisagem enquanto sistema acontece na interação e no funcionamento com os demais sistemas perante a troca de matéria, energia e informação.

Essas trocas de energia caracterizam a dinâmica dos sistemas naturais envolvendo cinco fontes: radiação solar, orogênica (energia interna da terra), cinética (força pela física), gravitacional e exossomática (traduz a energia fornecida fundamentalmente pelo homem) (CAPDEVILA, 1981). Compondo, assim, o quadro complexo de sistemas naturais e sociais em interação mútua.

É importante salientar que entender a análise integrada da paisagem, significa a compreensão de que os componentes paisagísticos (geologia, pedologia, geomorfologia, clima e vegetação) estão em constante interação e envolvem a troca de energia, matéria e informação de forma interdependente com as ações e atividades antrópicas. Destarte, associados configuram as paisagens e as unidades paisagísticas.

Partindo desses pressupostos, a construção da presente pesquisa doutoral sobre a Dinâmica Geoecológica e os Cenários Potenciais para a conservação da Paisagem Semiárida na Bacia do Riacho São José perpassou, conforme Libault (1971), pelos quatro níveis da pesquisa geográfica: compilatório, correlatório, semântico e normativo. Além disso, foi desenvolvida em duas etapas principais: trabalho de gabinete e de campo (quadro 01).

Tomando como base o quadro 01, durante os quatro anos de pesquisa, foram realizados seis trabalhos de campo na área de estudo, os quais compreendiam de dois a três dias seguidos, utilizando os finais de semanas como dias favoráveis às idas em campo, pois elas ocorriam junto a integrantes do Grupo de Estudo do Vale de São José. Com base na importância desse grupo, destacamos o líder, Alexandre Vieira, pois além de pesquisador, conhece bem a bacia do Riacho de São José. Vale mencionar que os campos em equipe ocorreram devido às medidas de segurança, visto que eram excursões em trilhas, as quais compreendiam áreas isoladas e de difícil acesso.

Quadro 01: Níveis da pesquisa.

<b>Etapas Níveis da Pesquisa</b>	<b>Trabalho de Gabinete</b>	<b>Trabalho de Campo</b>
<b>Compilatório</b>	Coleta e seleção de dados da tese. Origem primária e secundária, para construção do contexto teórico e metodológico da pesquisa, por meio da leitura de artigos, livros, teses, dissertações e outros materiais pertinentes, além da construção dos bancos de dados georreferenciados.	Conhecimento da área de estudo, obtenção de registros fotográficos, coleta de coordenadas geográficas, realização das medições e da escrita necessárias para o diário de campo.
<b>Correlatório</b>	Correlacionar os dados coletados e selecionados ao fenômeno em estudo, organizando-os de acordo com as temáticas a serem abordadas em cada capítulo e a construção da cartografia temática dos fenômenos analisados.	Realização dos trabalhos de campo em ordem crescente dos objetivos, desenvolvimento de observações e constatações cartográficas, com base nas informações contidas no diário de campo.
<b>Semântico</b>	Articulação entre os dados correlacionados na construção e no desenvolvimento dos capítulos, de acordo com os objetivos e abordagens metodológicas adotadas para interpretação, análise e apresentação dos resultados alcançados.	Aplicação de procedimentos metodológicos específicos para a construção dos capítulos III e IV.
<b>Normativo</b>	Validação da tese construída, verificando, de acordo com os pressupostos iniciais da pesquisa, se a hipótese foi possível de falseamento ou se tornou verdadeira. Construção final do documento.	***

Fonte: LIBAUT, 1971. Organização: A. M. S. CHAVES, 2019.

Em todas as atividades de campo foi feito uso de câmera fotográfica, Sistema de Posicionamento Global (GPS) e diário de campo. Com a área pesquisada compreende o domínio fitogeográfico da caatinga, a qual é dinâmica e susceptível as variações anuais das precipitações, priorizou-se atividades no mês de maio, pois as chuvas na área de estudo tende a iniciar de abril para maio. Assim foi possível registrar as mudanças fisionômicas da vegetação, as quais são constatadas a partir de meados do outono (abril e maio), durante o inverno (junho,

julho e agosto) até os primeiros meses da primavera (setembro e outubro). Também se realizou campos no verão.

O primeiro campo, realizado em maio de 2017, teve por finalidade a ambientação com a área de estudo. Ele ocorreu em dois dias e foi percorrido a parte do alto e do médio curso da bacia, durante os quais se fez registros fotográficos, capturas de coordenadas geográficas e anotações de campo. Essas três atividades (registro, captura e anotação) se repetiram nos demais campos juntos às atividades específicas.

A segunda, a terceira e a quarta atividade em campo ocorreram em maio, agosto e setembro de 2018 e foram direcionadas para o conhecimento das características físicas-naturais e sociais da bacia. Com o intuito de ser possível dialogar com as informações da caracterização geocológica da área de estudo e auxiliar no mapeamento, na análise do índice de vegetação e na cobertura e uso da Terra.

Em maio de 2019, com duração de três dias, ocorreu o quinto campo, que tinha a finalidade de estudar a dinâmica fitogeográfica. Acerca dos pontos pré-estabelecidos na etapa de planejamento em gabinete, preencheu-se as fichas biogeográficas necessárias para a análise da dinâmica fitogeográfica, compreendendo: observação da paisagem, delimitação de um raio com 10 m<sup>2</sup>, identificação das principais espécies vegetais, os estratos, a abundância e as dominâncias da vegetação.

Em janeiro de 2020 ocorreu o sexto e último campo juntamente com uma equipe interdisciplinar durante três dias, que teve o objetivo de identificar a prestação dos serviços ecossistêmicos. Esse campo intercalou atividades de gabinete para preenchimento da tabela de Classificação Internacional Comum de Serviços Ecossistêmicos (CICES) e a realização de atividade prática para verificação de SE prestado e registros fotográficos.

Por sua vez, o trabalho de gabinete compreendeu desde o planejamento das atividades de campo à apreensão do contexto teórico e metodológico da pesquisa, a tabulação e à análise de dados, a confecção de mapas temáticos e a escrita da tese, ou seja, o desenvolvimento e a construção do texto aqui apresentado.



## 2.2 Recorde Espacial da Área de Estudo

Para estudar bacia hidrográfica, faz-se necessário ter a visão integrada de seus componentes (físico-naturais e socioambientais), compreendendo como uma área de drenagem cuja delimitação estar sobreposta a limites políticos administrativos conferem potencial para “[...] análise da superfície terrestre, onde é possível reconhecer e estudar as inter-relações existentes entre os diversos elementos da paisagem e os processos que atuam na sua esculturação. [...]” (BOTELHO, 2015, p. 269).

A delimitação de uma bacia constitui-se por métricas de altimetria configuradas na geomorfologia pelos divisores d’água (o relevo) em pontos elevados, que determinam a direção do escoamento superficial das águas. Além disso, é constituída por um rio principal e canais tributários ou afluentes responsáveis pelo transporte de água e sedimentos ao longo do curso. Estes, por sua vez, podem ser subdivididos a depender do nível de hierarquia dos canais fluviais (CHRISTOFOLETTI, 1980; BELTRAME, 1994; ARAUJO; ALMEIDA; GUERRA, 2010).

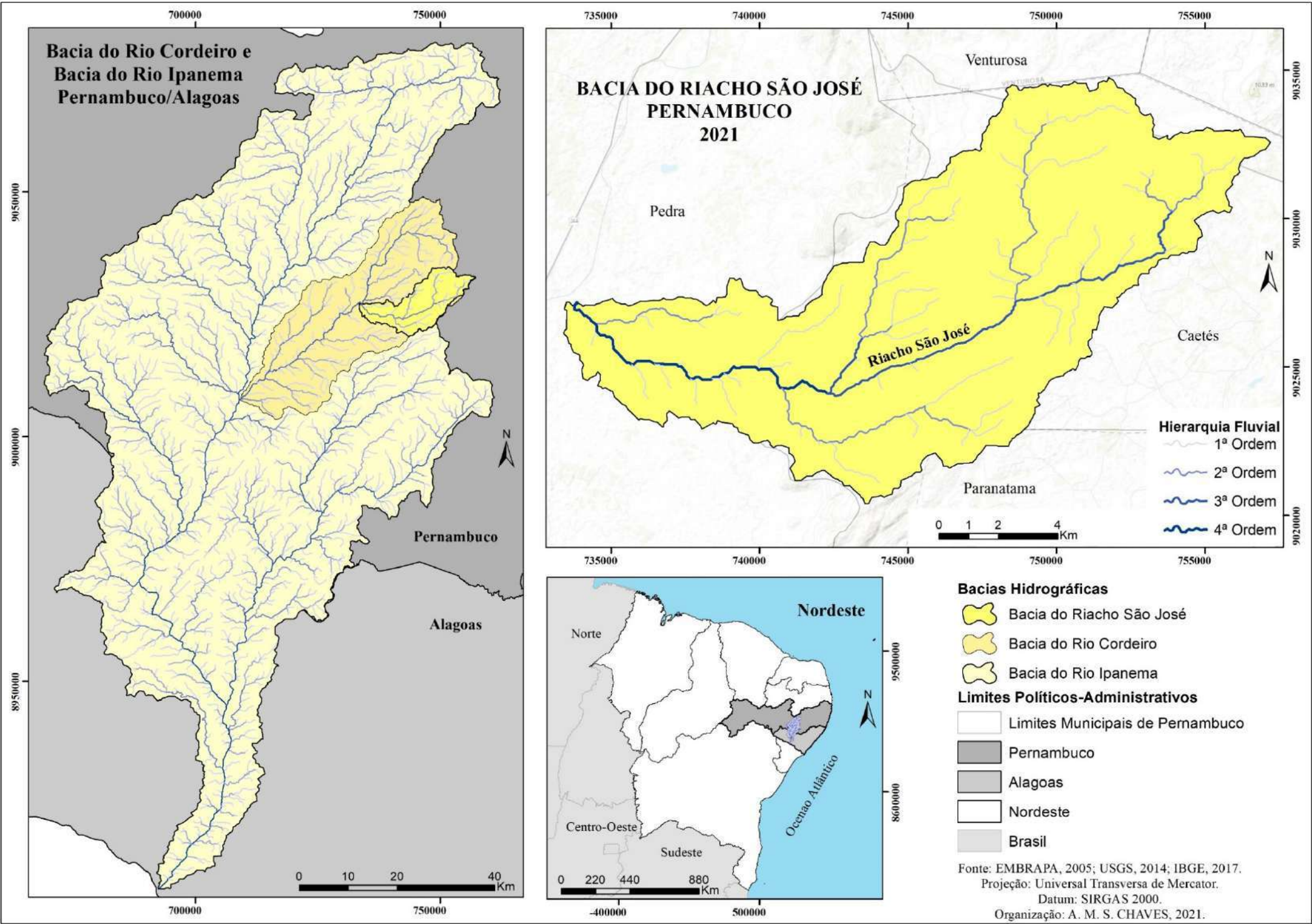
De acordo com Botelho (2015, p. 269), “[...] a bacia hidrográfica é uma célula natural que pode, a partir do seu *outlet* ou ponto de saída, ser delimitada sobre uma base cartográfica que contenha cotas altimétricas, como as cartas topográficas”. Na atualidade, a base principal para a delimitação de bacias é o modelo digital de elevação (MDE).

Nesse sentido, podemos dizer que bacias hidrográficas são classificadas em três tipos: bacia, sub-bacia e microbacia. A primeira é uma área principal que pode ser subdividida em unidades menores; as sub-bacias fazem parte da divisão de uma bacia maior; e microbacia corresponde a uma unidade espacial mínima dentro de uma bacia de drenagem, ou unidade de planejamento (BOTELHO, 2015).

Assim, ressalta-se que a presente pesquisa reconhece a importância de entender o enquadramento escalar das bacias hidrográficas, mas na discussão construída não se prendeu a uma divisão hierárquica de enquadramento do tamanho da bacia a partir de seus conceitos e métricas mencionados acima. Pois a intenção é compreendida a bacia do Riacho São José enquanto unidade de análise da superfície terrestre (BELTRAME, 1994; BOTELHO, 2015), a qual é possível desenvolver uma análise integrada da paisagem, destacando as (inter)relações biofísicas e socioambientais que configuram do sistema territorial.

Geograficamente, a BRSJ integra a bacia do Rio Cordeiro, principal tributário do rio Ipanema (Figura 02). O rio Ipanema compreende um sistema fluvial interestadual que ocupa uma área de 6.209,67 km<sup>2</sup>, onde a maior parte estar no estado de Pernambuco e sua porção Sul no Estado de Alagoas, onde confluir no rio São Francisco (APAC, 2021).

Figura 02: Enquadramento da bacia do Riacho São José na bacia do Rio Cordeiro e bacia do Rio Ipanema-PE/AL.



Elaboração: A. M. S. CHAVES, 2020.

Escolher pela bacia do Riacho São José como área de estudo compreende três aspectos principais: localização estratégica perante as características fitogeográfica do ambiente semiárido da região de desenvolvimento Agreste Meridional do Estado de Pernambuco; forma alongada contemplando planalto da Borborema e depressão do Baixo São Francisco, revelando diferentes contrastes climáticos; um tamanho ideal para aplicação de proposições metodológicas voltadas ao planejamento ambiental (BELTRAME, 1994; BOTELHO, 2015; MACHADO; TORRES, 2012).

Assim, para analisar a dinâmica geoecológica da bacia do Riacho São José, também se fez necessário definir a escala temporal de análise para investigações dos fenômenos geográficos objetivados e construção de base de dados georreferenciados. Nesse sentido, definiu-se 30 anos como um recorte temporal adequado para análise da dinâmica da cobertura vegetal e mudanças na superfície terrestre.

Nesse contexto, as imagens dos satélites landsat 05 e 08 possibilitaram realizar a análise espacial e temporal, pois permitem a observação dos recursos terrestres e são disponibilizadas gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais do Brasil e Serviço Geológico dos Estados Unidos (FITZ, 2008; FLORENZANO, 2011; SANTOS, *et al.*, 2014), além de serem amplamente utilizada para mapeamento da cobertura da terra e do índice de vegetação pela diferença normalizada (ACCIOLY *et al.*, 2016; FLORENZANO, 2011; PONZONI; SHIMABUKURP; KUPLICH, 2012; SANTOS; AQUINO, 2019).

No tocante a escolha das imagens, seguiu-se o parâmetro técnico no tocante a ausência de nuvens e um recorte por década (1985, 1995, 2005 e 2015), durante a estação primavera. Pois, para a localização da bacia, é quando a vegetação da caatinga ainda não se encontra totalmente seca, está sem a influência forte das precipitações do inverno e com menor cobertura de nuvens (FRANCISCO *et al.*, 2012; SANTOS; AQUINO, 2019). E na seleção das imagens de satélite seguiu-se as indicações apresentadas por Florenzano (2011).

Definido o recorte espacial e temporal, a seguir apresenta-se como os bancos de dados foram construídos e posteriormente descreve-se os procedimentos metodológicos e técnicos utilizado em cada capítulo da tese.

### **2.3 Construção da Base de Dados e Delimitação da Área de Estudo**

Para a tese, a etapa essencial foi a construção da base de dados primários e secundários, com informações geoespaciais para o desenvolvimento da cartografia temática e outras informações sobre a bacia do Riacho São José-PE, em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIGs).

Segundo Fitz (2008, 53), fazer uso de SIGs requer “[...] a existência de um banco de dados georreferenciados, ou seja, dados portadores de registros referenciados a um sistema de coordenadas conhecidas”. Nesse sentido, foram construídos, para área estudada, três Bancos de Dados (BD): dois com informações espaciais, com arquivos vetoriais (shapefiles - polígonos, linhas e pontos) e matriciais (raster - imagens digitais geradas por sensoriamento remoto); e o terceiro com dados alfanuméricos, tabelas com coordenadas associadas às descrições qualitativas e quantitativas de fenômenos.

Os dados, primários e secundários, necessários para construção dos BD foram obtidos a partir de órgãos e instituições estaduais, federais e internacionais: Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (ZAPE) disponibilizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (Agritempo).

Para isso, todos os arquivos (vetoriais, matriciais e alfanuméricos) foram colocados no sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) com o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000), visto esse último ser o sistema de referência geodésico estabelecido para Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e para o Sistema Cartográfico Nacional (SCN) desde o ano de 2005 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e estatística (IBGE, 2005; BRASIL, 2005).

Vele esclarecer que a conversão para UTM e SIRGAS 2000 de algumas imagens de satélite só foi realizada após alguns tratamentos específicos necessários para a obtenção do fenômeno analisado, como ocorreu com as imagens do Landsat 5 para cálculo do índice de vegetação e estimativa da temperatura da superfície terrestre.

O banco de dados 01 compreendeu dados vetoriais obtidos no IBGE (<ftp://geofp.ibge.gov.br/>), na ZAPE (CD-ROM) e na CPRM (<http://geosgb.cprm.gov.br/>) com informações ambientais do território brasileiro. Além de geração de novos dados (pontos linhas e polígonos) no ambiente SIG, como a delimitação da área de estudo, compartimentação

geoecológica da bacia, cursos hídricos e estradas e pontos de referências de objetos e fenômenos analisados na BRSJ.

Já o banco de dados 02 foi composto por dados matriciais (imagens do satélite Landsat 5 e 8 e o Modelo Digital de Elevação (MDE/ARTM)), os quais são disponibilizados no catálogo de imagens do INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>) e interface *Earth Explorer* do USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Eles compreendem dados primários que foram corrigidos e georreferenciados, quando necessário, para obtenção de informações e fenômenos a serem analisados, como: Temperatura da Superfície Terrestre (TST), Índice de Vegetação Pela Diferença Normalizada (NDVI), Mapeamento de Cobertura e Usos da Terra (CUT), declividade e a hipsometria do terreno.

Por sua vez, o banco de dados 03 foi constituído e organizado em tabelas do Excel com informações qualitativas e quantitativas obtidas nos bancos de dados meteorológicos do INMET (<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>) e Agridempo (<https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/Estacao/index.jsp?siglaUF=PE>). Além disso, houve também dados derivados dos arquivos vetoriais e matriciais dos BD 01 e 02. As informações do terceiro BD foram utilizadas nos mapeamentos do balanço hídrico e na construção de gráficos e tabelas para análise dos fenômenos estudados.

Apesar de cada BD corresponde a objetivos específicos da tese, eles se complementam no desenvolvimento de uma análise integrada. Assim, para apresentar de forma objetiva os bancos de dados, o quadro 02 expõe uma síntese com as principais informações contidas em cada um: dados, fenômenos, escala e repositório.

O recorte temporal de trinta anos de análise (1985, 1995, 2005 e 2015), com intervalos de aproximadamente dez anos, para seleção das imagens dos satélites Landsat com menor cobertura de nuvens, névoa ou interferência da precipitação no solo e na vegetação da caatinga compreenderam: dia 27 de novembro 1985; 09 de dezembro de 1995; 02 de novembro de 2005; 14 de novembro de 2015. Todas obtidas na estação primavera e faixa horária de registro entre as 11hs e 13hs.

As imagens do Landsat 5 com sensor Thematic Mapper (TM), apresentam período de revisita de 16 dias e resolução espacial de 30m para as bandas 1, 2, 3, 4, 5, 7 e de 120 m<sup>2</sup> e para banda 6 termal. Já a imagem do Landsat 8 com sensores Operational Terra Imager (OLI) e Thermal Infrared (TIRS) possui mesmo período de revisita e resoluções espaciais de 15m para a banda 8 pancromática, 30m para as bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 9 e de 100m para as bandas termais 10 e 11 (Tabela 01).

Quadro 02: Síntese das informações contidas nos bancos de dados da tese.

Bancos de dados	Tipo de dados		Escala	Repositório
BD 01	Vetoriais	Informações ambientais (Solo e Vegetação)	1:250.000	IBGE: <a href="https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html">https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html</a>
		Organização do território (limites regionais e políticos-administrativos)	1:1.000.000 1:5.000.000	
		Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (Geomorfologia)	1:100.000	EMBRAPA: CD-ROM
		Geodiversidade do Estado de Pernambuco (Geologia)	1:500.000	CPRM: <a href="http://geosgb.cprm.gov.br/">http://geosgb.cprm.gov.br/</a>
BD 02	Matriciais	Imagens do Satélite Landsat 05	30 metros	INPE: <a href="http://www.dgi.inpe.br/CDSR/">http://www.dgi.inpe.br/CDSR/</a>
		Imagens do Satélite Landsat 08 e Modelo Digital de Elevação - MDE	30 metros	Earth Explorer/USGS: <a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a>
BD 03	Planilhas	Precipitação (Garanhuns)	14 anos	INMET: <a href="https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos">https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos</a>
		Precipitação (Capoeiras, Garanhuns e Pedra)	14 anos	Agritempo: ( <a href="https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/Estacao/index.jsp?siglaUF=PE">https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/Estacao/index.jsp?siglaUF=PE</a> )

Elaboração: A. M. S. CHAVES, 2021.

Tabela 1: Características das bandas das imagens de satélite Landsat 5 e 8.

Características das Bandas do Satélite Landsat 5 TM		
Banda	Intervalo espectral (µm)	Resolução
1 - azul	0,45 - 0,52	30 m
2 - verde	0,52 - 0,60	30 m
3 - vermelho	0,63 - 0,69	30 m
4 - infravermelho próximo	0,76 - 0,90	30 m
5 - infravermelho médio	1,55 - 1,75	30 m
6 - infravermelho termal	10,4 - 12,5	120 m
7 - infravermelho distante	2,08 - 2,35	30 m
Características das Bandas do Satélite Landsat 8 OLI e TIRS		
Banda	Intervalo espectral (µm)	Resolução (m)
1 - visível	0.43 - 0.45 µm	30 m
2 - visível	0,450-0,515	30 m
3 - visível	0,525-0,600	30 m
4 - vermelho	0,630-0,680	30 m
5 - vermelho próximo	0.845-0.885	30 m
6 - SWIR 1	1.560–1.660	30 m
7 - SWIR 2	2.100–2.300	30 m
8 - pancromática	0,500-0,680	15 m
9 - Cirro	1.360–1.390	30 m
10 - infravermelho termal 1	10.6-11.2	100 m
11 - infravermelho termal 2	11,5-12,5	100 m

Fonte: DGI/INPE, 2017; 2018; USGS, 2017. Organização: A. M. S. CHAVES, 2019.

É importante esclarecer que não foram utilizadas todas as bandas que as imagens do satélite Landsat possui, mas sim aquelas necessárias à análise dos fenômenos apresentados na presente tese: vermelho e infravermelho próximo para cálculo do índice de vegetação; infravermelho termal para estimativa da temperatura da superfície terrestre; vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio para delimitação de cobertura e uso da Terra.

Assim, para a organização, a correção, a construção, a análise dos dados e os fenômenos que compõem os bancos de dados apresentados, a pesquisa fez uso do ambiente SIGs por meio dos softwares: *ArcGIS* 10.3.1, *Idrisi* 17.0, e *QGIS* 2.8.1, através de técnicas e ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto; software *Inkscape* 0.92.4, planilha excel e da ferramenta online *RAWGraphs*.

De posse dos bancos de dados, o primeiro passo realizado foi a delimitação da área de estudo, a Bacia do Riacho São José (BRSJ), a qual se fez a partir do modelo digital de elevação (MDE) da imagem da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (folhas SC-24-X-B e SB-24-X-D e resolução espacial de 30 m), obtida na interface *Earth Explorer* (USGS). Os procedimentos operacionais ocorreram no *software ArcGis* 10.3.1.

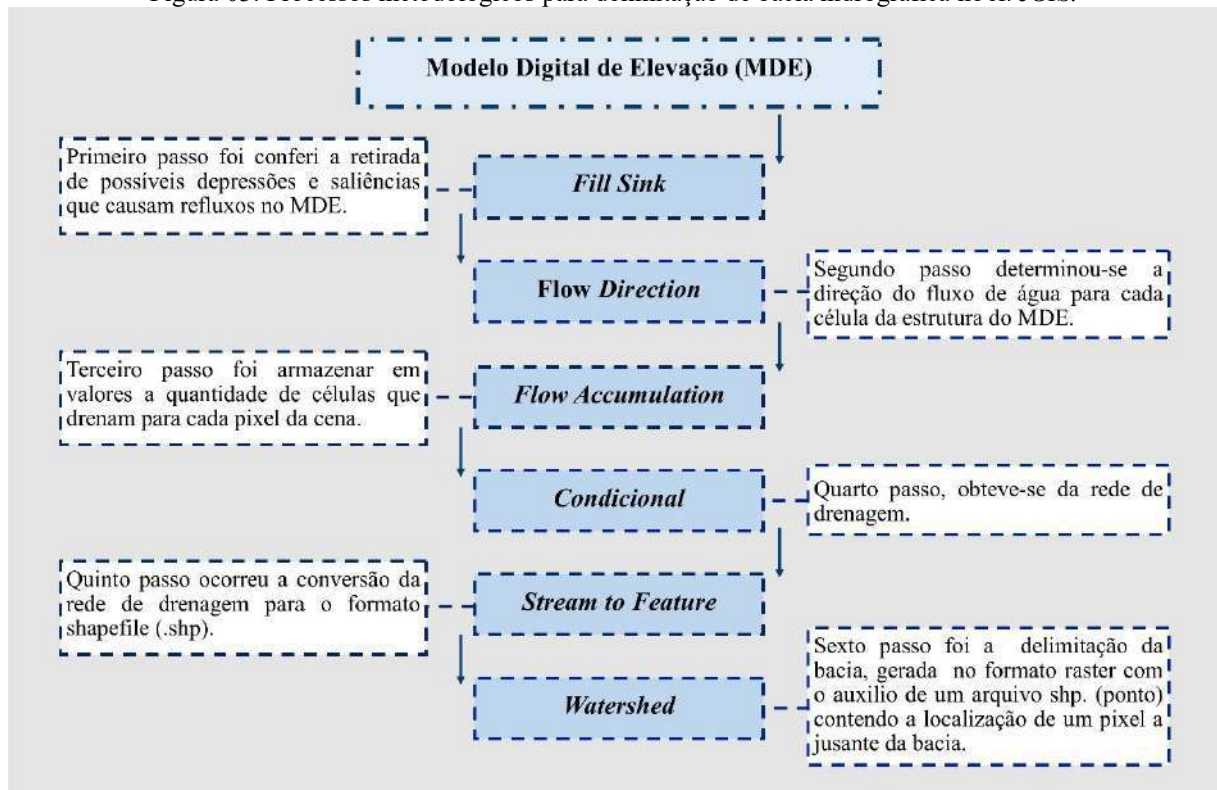
Assim sendo, primeiro realizou-se a correção radiométrica do MDE, definindo o sistema de referência espacial a partir da ferramenta *Data Management Tools - Projections and Transformations - Project Raster*, presente no *ArcToolbox* do *ArcGis* 10.3.1, definição da projeção UTM e sistema de referência SIRGAS 2000.

Após as devidas correções, se fez a delimitação da Bacia seguindo os procedimentos metodológicos indicados por Rech *et al* (2011), atribuindo uso das seguintes ferramentas do *Spatial Analyst Tools*: *Fill sink*; *flow direction*; *flow accumulation*; *condicional/con*; *stream to feature*; *watershed* (Figura 03).

Após concluir a delimitação da área de estudo, seguiu-se para execução dos demais procedimentos metodológicos, técnicos e operacionais necessários para a construção dos produtos cartográficos finais apresentados na pesquisa (foram confeccionados no *Layout View* do *ArcGIS* 10.3.1 a partir da inserção dos arquivos com os fenômenos analisados) e dos elementos obrigatórios de um mapa: título, norte, coordenadas, legenda e escala (MARTINELLI, 2013; 2014).



Figura 03: Processos metodológicos para delimitação de bacia hidrográfica no *ArcGIS*.



Fonte: Rech *et al*, 2011. Organização: A. M. S. CHAVES, 2018.

## 2.4 Elaboração da Caracterização Geoecológica da Bacia do Riacho São José-PE

Com o objetivo de “elaborar a caracterização geoecológica da área da bacia do Riacho São José-PE”, construiu-se uma base cartográfica e uma análise de informações sobre o clima a geologia e o solo, o relevo e a hidrografia e a vegetação. Além disso, foram aplicados diferentes procedimentos técnicos e operacionais, além do uso de dados primários, secundários e informações adquiridas durante os trabalhos de campo.

### Condicionantes Climáticos

As condições climáticas foram estimadas a partir de dados quantitativos e qualitativos que caracterizam o clima da bacia do Riacho São José. Esses dados possibilitam identificar as médias de precipitação e a temperatura ao longo de um recorte temporal para elaboração do balanço hídrico, além de estimativas de temperatura da superfície.

Como na área territorial da bacia estudada não possui estação meteorológica, os dados foram obtidos em estações do entorno. Assim, a partir dos dados de precipitação e temperatura de três estações (Quadro 03) foi estimado o balanço hídrico compreendendo o período de 14 anos (2004 a 2017 – Anexo A) por média do valor mensal das estações. Posteriormente, por triangulação, se especializou a precipitação anual média e a temperatura média.



Quadro 03: Estações meteorológicas utilizadas na estimativa do balanço hídrico da bacia do Riacho São José.

ESTAÇÃO	LOCAL	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		ALTITUDE
		SUL	OESTE	
GARANHUNS	GARANHUNS	8° 52' 48"	36° 30' 36"	984 m
TRMM. 6105	CAPOEIRAS	8° 43' 48"	36° 37' 12"	917 m
TRMM.6257	PEDRA	8° 51' 0"	36° 55' 12"	425 m

Fonte: Agritempo, 2018. Organização: A. M. S. CHAVES, 2019.

Nessa perspectiva, o Balanço Hídrico refere-se à quantificação da entrada e saída de água no solo que se dá na forma de ganhos, perdas e armazenamento pelo solo (OMETTO, 1981). Aqui sendo seguido a proposta desenvolvida por Thornthwaite e Mather, em 1955, que permite monitorar a variação do armazenamento de água no solo “[...] apresentado na escala mensal e para um ano médio, ou seja, o balanço hídrico cíclico, elaborado a partir das médias climatológicas de temperatura e chuva do local” (SENTELHAS *et al.*, 1999, p. 2).

Assim sendo, primeiro, faz-se um banco de dados referente à temperatura média do ar e a precipitação total média do local, obtidos no INMT e no Agritempo, gerado através do programa de balanço hídrico normal – Bhnom, elaborado em planilha Excel por Rolim, Sentelhas e Barbieri (1998). Assim, foi evidenciado dados referentes aos seguintes aspectos:

- Representação gráfica do extrato do balanço hídrico por meio da deficiência hídrica (DEF) e do excedente hídrico (EXC);
- Representação gráfica completa do balanço hídrico climatológico pelo cálculo da precipitação (P), evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR) na forma de linhas;
- Representação gráfica completa do balanço hídrico climatológico pelo cálculo da precipitação (P), evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR) na forma de barras;
- Variação do armazenamento de água no solo (ARM) ao longo do ano.

Os dados de precipitação e temperatura foram especializados para a área da bacia do riacho São José no ambiente SIG do *ArcGIS* 10.3.1 a partir do método de interpolação pela ponderação krigagem, com o intuito de observar a distribuição espacial dos fenômenos analisados.

Para a espacialização, primeiro construiu-se um mapa de pontos com a localização, os valores da temperatura média e a precipitação total; em seguida realizou-se a interpolação por krigagem ordinária, presente na caixa de ferramenta “*Spatial Analyst Tools/Interpolation /*

*Kriging*”; por fim, fez-se a classificação pelo método do desvio padrão com ½ de intervalo para melhor espacialização dos dados mensurados.

No tocante a Temperatura da Superfície da Terra (TST), esta consistiu na obtenção da temperatura em graus Celsius (°C) da superfície da área de estudo, mas por se utilizar imagens de duas versões do satélite Landsat (5 e 8), foi preciso adotar procedimentos distintos para: banda 6 do satélite Landsat 5 e as bandas 10 e 11 no Landsat 8, as quais representam os registros da *Thermal Infrared*.

A obtenção da TST do Landsat 5 seguiu as etapas apresentadas em Chaves e Melo & Souza 2017. Para isso, utilizou-se o software Idrisi 17.0 para converter os níveis de cinza da imagem em temperatura (C°) através da ferramenta *Thermal*. Posteriormente, no ArcGIS 10.3.1, projetou-se e georreferenciamento das bandas termais a partir de pontos de controle e de uma imagem previamente georreferenciada. Em seguida, selecionou-se o número de classes desejadas e as cores correspondentes, por fim, adicionou-se uma imagem processada e colorida para analisar cada classe (C°) representada na superfície.

Para as bandas 10 e 11 do Landsat 8, foi executado os procedimentos apresentados em França, Chaves e Pinto (2016): conversão dos níveis de cinza para radiância através da caixa de ferramentas *Arctoolbox* e habilitando o *Raster Calculator* com a fórmula (USGS, 2017):

$$L\lambda = ML * Qcal + AL (0.0003342 * \text{Banda termal} + 0.1)$$

Em que  $L\lambda$  é a Radiância Espectral do sensor de abertura em Watts ( $m^2sr\mu$ ); ML é o fator multiplicativo de redimensionamento das bandas 10 e 11 (0.0003342); AL se refere ao fator de redimensionamento aditivo específico das bandas 10 e 11 (0.1); Qcal é o Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN (imagens bandas 10 e 11). Assim, de posse dos valores de radiância das bandas, pôde ser gerado a TS em graus Kevins (°K) pela fórmula:

$$T = \frac{K_2}{\ln \left( \frac{K_1}{L_\lambda} + 1 \right)}$$

Em que T = At-satélite temperatura de brilho (K);  $L_\lambda$  é TOA radiância espectral (*Watts* / ( $m^2 * SRAD * \wedge M$ ));  $K_1$  a banda específica de constante a partir dos metadados ( $K1\_CONSTANT\_BAND\_x$ , em que x é o número de banda térmica);  $K_2$  a banda específica de conversão térmica constante a partir dos metadados ( $K2\_CONSTANT\_BAND\_x$ , em que x é o número de banda térmica).

Posteriormente é transformada, com o *Raster Calculator*, a radiância de temperatura Kelvin a partir da subtração do valor absoluto da temperatura °K (273.15), gerando o raster da TS em graus Celsius (°C) pelas fórmulas:

$$\text{Banda 10} = 1321.08 / \ln (774.89 / \text{Banda 10} + 1) - 273.15$$

$$\text{Banda 11} = 1201.14 / \ln (480.89 / \text{Banda 11} + 1) - 273.15$$

Após gerar os rasters de temperatura da superfície das bandas termais 10 e 11, somou-se às respectivas bandas transformando-as em um único *raster* de temperatura da superfície através da ferramenta *Cell Statistics* encontrado no *Arctoolbox*.

### **Geologia e Solo**

Os primeiros aspectos apresentados são a geologia e o solo, visto que conhecer o substrato natural da bacia é importante, pois permite compreender o arcabouço geológico da área, uma vez que esta delimita características intrínsecas aos parâmetros morfométricos, a exemplo de sua inferência no formato da drenagem dos cursos d'água. Nesse sentido, é relevante destacar a existência de embasamento rochoso e litologia preexistente, bem como as variações dos tipos de solos que proporcionam realizar indicações dos usos potenciais mais adequados para a bacia.

Vale frisar que a cartografia desses elementos se configurou a partir dos dados disponíveis em GEOBANK/CPRM, do conjunto de dados geoespaciais do IBGE e do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (ZAPE), extraídos em escalas de 1:100.000 e 1:250.000, os quais, auxiliado pelo trabalho de campo, foi possível identificar afloramentos rochosos e processos exógenos associados.

Por sua vez, no ambiente SIG do *ArcGIS* se procedeu com a inserção dos dados. Com a ferramenta clip do *geoprocessing* presente no *arctoolbox*, fez-se o recorte da área de estudo. Posteriormente, no *layer* de propriedades dos dados fez-se a classificação em complexos geológicos e as suas litologias e para a pedologia selecionou-se os tipos de solos.

Nesse processo, após o recorte das informações para a área da bacia, no software Global Mapper 16, se fez a transformação da projeção para sistema Universal Transversa de Mercator (UTM) e datum SIRGAS 2000, isso foi feito para todas as informações geológicas aqui trabalhadas.

## **Relevo e Morfometria**

Como o estudo foi desenvolvido em bacia hidrográfica, ambiente delimitado a partir da topografia (divisores d'água), conhecer as formas do relevo é essencial, pois são os componentes responsáveis pela identificação da dinâmica e dos processos atuantes.

No tocante à análise morfométrica, esse procedimento consagrado em estudos geomorfológicos permitiu a identificação e compreensão de aspectos físicos e métricos da bacia e são resultantes da dinâmica ambiental associada à formação geológica, geomorfológica, climática e hidrográfica.

No tocante a Geomorfologia, ela foi identificada a partir de suas características intrínsecas: relevo predominante, unidades geomorfológicas e especificação dos aspectos declividade. Esses aspectos estão apresentados na forma de fotografias e mapas elaborados em ambiente SIG a partir de dados do conjunto de dados geoespaciais do IBGE, Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (ZAPE). Todos eles disponibilizados pela EMBRAPA (2001), já o modelo digital de elevação (MDE), derivado da imagem SRTM, foi disponibilizado pelo USGS.

O procedimento em ambiente SIG do *ArcGIS* segue a inserção dos dados (relevo e unidades geomorfológicas). Com a ferramenta clip do *geoprocessing* presente no *arctoolbox*, fez-se o recorte da área de estudo, posteriormente, no *layer* de propriedades dos dados, fez-se a classificação dos dados, o relevo e as unidades geomorfológicas.

Para a declividade, fez-se a inserção do MDE da área de estudo no ambiente SIG, em seguida, a partir da ferramenta *slope*, presente no *arctoolbox - 3D analyst tools - raster surface*, selecionou-se o MDE e a medida de saída em porcentagem, fez-se a classificação do relevo de acordo com o sistema brasileiro de classificação de solo em relevo plano, suave ondulado, ondulado, forte ondulado, montanhoso e escarpado (EMBRAPA, 2018).

A Morfometria, por sua vez, permitiu conhecer a bacia estudada a partir de seus aspectos físicos e ambientais (CHRISTOFOLETTI, 1980; BELTRAME, 1994; MACHADO; TORRES, 2012): a análise da hierarquia fluvial dos cursos hídricos; a análise linear que concede destaque para a identificação de aspectos referente ao curso d'água principal e sua relação com o relevo; a análise areal que caracteriza a geometria da bacia, seu perímetro e a relação entre os canais do rio; a análise hipsométrica, por meio de relações topográficas do relevo.

## Hierarquia Fluvial

- Ordem fluvial: classificou cada curso a partir de uma hierarquia. Na presente pesquisa, segue-se a ordem fluvial proposta por Strahler (1957) por ser a mais aplicada nas pesquisas acadêmicas e apresentar hierarquização clara, que vai de 1ª ordem, 2ª ordem a nª ordens estabelecidas do seguinte modo: o canal de primeira ordem é o que não possui tributário, ou seja, se origina em uma nascente; já canal de segunda ordem surge a partir da confluência de dois canais de primeira ordem; por sua vez, o canal de terceira ordem surge do encontro de dois canais de segunda ordem e assim por diante (CHRISTOFOLETTI, 1980).
- Número de segmentos: referiu-se à quantidade dos canais de mesma ordem hierárquica, ou seja, a contagem de cursos a partir de suas diferentes ordens (CHRISTOFOLETTI, 1980).
- Número de ligamentos: compreendeu os trechos de segmentos que não recebem afluentes (CHRISTOFOLETTI, 1980).

## Análise Linear

- Relação de bifurcação: é a relação estabelecida entre o número total de segmentos de uma dada ordem pelo número total dos canais de ordem superior. Essa relação foi desenvolvida por Horton em 1945 (MACHADO; TORRES, 2012), a partir da seguinte equação:

$$Rb = Nu \div Nu+1$$

Sendo Rb a relação da bifurcação; Nu o número de partes de determinada ordem; Nu+1 o número de partes da ordem imediatamente superior. Nesse sentido, quando se leva em consideração a hierarquização dos canais proposta por Strahler, o resultado apresentado não deve ser inferior a dois (CHRISTOFOLETTI, 1980).

- Comprimento do rio principal: correspondeu ao curso do rio principal da bacia desde a nascente à foz (CHRISTOFOLETTI, 1980).
- Extensão do percurso superficial: compreendeu a área do interflúvio até o canal fluvial, ou seja, compreende a distância média do escoamento superficial deslocado por uma enxurrada em bacia, o qual é obtido pela fórmula (CHRISTOFOLETTI, 1980):

$$Eps = 1 / 2Dd$$

O Eps representa a extensão do percurso superficial e Dd corresponde a densidade de drenagem da bacia.

- Índice de sinuosidade: corresponde a curva feita a partir da sinuosidade do canal do rio principal, com o propósito de constatar se o rio é ou não sinuoso. O cálculo se faz pela fórmula (CHRISTOFOLETTI, 1980; MACHADO; TORRES, 2012):

$$IS = L \div De$$

Em que IS é o índice de sinuosidade; L é o comprimento do canal; De compreende a distância dos eixos A e B em linha reta. Um rio é considerado sinuoso quando o valor encontrado é superior a 1,5.

### **Análise Areal**

- Área da bacia: corresponde à área drenada pelo sistema fluvial, cursos hídricos em direção a um rio principal, bem delimitada pelo relevo e divisores topográficos, que também são conhecidos como divisor de água (MACHADO; TORRES, 2012).
- Perímetro da bacia: representa o limite estabelecido pelos divisores de água que circunda e delimita uma bacia hidrográfica (MACHADO; TORRES, 2012).
- Comprimento da bacia: é estabelecido a partir da “distância medida, em linha reta, entre a foz e o mais alto ponto situado ao longo do perímetro” (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 114).
- Índice de circularidade: refletido a partir de Miller, em 1953, com a finalidade de determinar a forma da bacia, leva em consideração a “[...] relação existente entre a área da bacia e a área do círculo do mesmo perímetro” (CHRISTOFOLETTI, idem).

O cálculo se faz com a fórmula:

$$Ic = A \div Ac$$

Nessa relação, Ic é o índice de circularidade; A corresponde a área da bacia; Ac é a área do círculo igual ao perímetro. Sendo que a área do círculo, que é semelhante ao perímetro, é obtida pela fórmula (MACHADO; TORRES, 2012):

$$C = 2\pi \cdot r \rightarrow r = C \div 2\pi \rightarrow Ac = \pi \cdot r^2$$

Em que C é a circunferência do círculo; r corresponde ao raio; Ac a área do círculo. O índice de circularidade da bacia varia de 0,0 a 1,0. Nessa relação, bacias arredondadas apresentam valores próximos a 1,0, inversamente, já as bacias estreitas e alongadas compreendem valores próximos a 0,0.

- Densidade de drenagem: refere-se à correlação do comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia hidrográfica (MACHADO; TORRES, 2012), a qual é calculada pela seguinte equação:

$$Dd = Lt \div A$$

Sendo Dd a densidade de drenagem; Lt o comprimento total dos canais; A a área da bacia hidrográfica. A densidade de drenagem permite mensurar qual é o comprimento de cada canal em Km, disponível a drenar cada unidade da bacia em Km<sup>2</sup> (MACHADO; TORRES, 2012).

- Coeficiente de manutenção tem a finalidade de fornecer o cálculo da “[...] área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento [...]” a partir da seguinte fórmula (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 117):

$$Cm = 1 \div Dd . 1000$$

Em que Cm é o coeficiente de manutenção e Dd é o valor da densidade de drenagem. De acordo com Machado e Torres (2012), esse é um dos mais importantes índices utilizados na caracterização o sistema de drenagem de uma bacia.

### **Análise Hipsométrica**

- Para o desenvolvimento da análise hipsométrica, foi necessário estimar as cotas altimétricas do terreno da BRSJ. Para isso, fez-se uso do ambiente SIG e do MDE seguindo as seguintes etapas: primeiro se fez as curvas de níveis a partir da ferramenta *Raster Surface - Contour* (contorno de 10 metros) presente no *Arctoolbox*; criou-se o *Tin* pela ferramenta *Create Tin – 3D analyst tools - Data management*; para delimitação na área de interesse, a bacia, fez *Edit Tin – 3D analyst tools - Data management*; posteriormente, no *layer* de propriedades dos dados, para estimar os intervalos das cotas altimétricas.
- Altitude mínima, máxima e média: correspondeu aos níveis altimétricos mínimo e máximo do terreno abrangido pela bacia e a média entre esses valores.
- Amplitude altimétrica: representou a declividade média que é conferida pela diferença nos níveis hipsométricos entre a altitude máxima e a atitude mínima da bacia.
- Relação de relevo: parâmetro que expressou a relação “[...] existente entre a amplitude altimétrica máxima de uma bacia e a maior extensão da referida bacia, medida paralelamente à principal linha de drenagem [...]” (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 120), a partir da fórmula:

$$Rr = Hm / Lh$$

Rr é a relação do relevo; Hm a amplitude topográfica máxima; Lh o comprimento da bacia. Esse parâmetro foi indicado por Schumm em 1956 (CHRISTOFOLETTI, 1980).

- Índice de rugosidade: foi obtido por meio da relação dos componentes da topografia, a partir da combinação entre “[...] qualidades de declividade e comprimento das vertentes com a densidade de drenagem [...]” (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 121) pela equação:

$$Ir = H \cdot Dd$$

O Ir é o índice de rugosidade; H representa a amplitude altimétrica; Dd a densidade drenagem. Esse índice é utilizado no direcionamento do potencial uso da terra de uma bacia com relação às suas características (MACHADO; TORRES, 2012).

- Perfil longitudinal: correspondeu a variação de declividades do canal do rio principal, representado graficamente desde a nascente até a foz, “formando uma linha irregular côncava para cima, com gradientes, em geral maiores em direção à nascente, e valores mais suaves a jusante (MACHADO; TORRES, 2012).

### Cobertura Vegetal

Fechando a apresentação dos componentes geoecológicos que caracterizam a paisagem da bacia do Riacho São José, traz-se a cobertura vegetal a partir de dados disponíveis pelo IBGE, contendo os tipos de vegetação dominante, natural e secundária, além de suas fitofisionomias (arbórea, arbórea/arbustiva e arbustiva). É válido ressaltar que o capítulo IV será dedicado a dinâmica fitogeográfica da BRSJ em suas estruturas horizontais e verticais e a diversidade florística.

Assim sendo, o mapeamento da cobertura vegetação ocorreu no ambiente SIG do *ArcGIS*10.3.1 seguindo os passos já mencionados: inserção dos dados (vegetação e fitofisionomia), recorte da área de estudo através da ferramenta *clip* do *geoprocessing* presente no *arctoolbox* e a classificação das variáveis no *layer* de propriedades dos dados.

Informações detalhadas no tocante à fitofisionomias e à paisagem são apresentadas a partir de fotografias obtidas durante o trabalho de campo, bem como foram identificadas espécies nativas da área da bacia a partir do levantamento florístico em campo e o desenvolvido por Vieira *et al.* (2017).



## **2.5 Procedimentos Técnicos e Operacionais para Estudo da Dinâmica Fitogeográfica**

Como teve-se por objetivo “delinear a dinâmica fitogeográfica da bacia Riacho São José-PE”, é necessário apresentar os procedimentos técnicos e operacionais utilizados na identificação das estruturas horizontais e verticais da vegetação através do Índice de Vegetação pela Diferença Normalizada (NDVI), conforme apresentado por Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2012); a construção de Pirâmides de Vegetação (PV), de acordo com a proposta de Bertrand (1966); e estimativas de diversidade florística por meio de índices específicos: Diversidade Shannon, equitabilidade / uniformidade de Pielou e dominância Simpson, como verificado em Moreno (2001).

Assim sendo, os procedimentos metodológicos foram desenvolvidos de modo complementar, integrando assim técnicas mais contemporâneas com uso de imagens de satélite para o estudo da vegetação, de metodologias clássicas como as pirâmides e os índices de diversidade (baseadas em técnicas da fitossociologia). Nesse viés, como afirmou Passos (2000), o estudo que vise a integração busca entender e analisar as relações de um todo das formações vegetais.

Assim, analisou-se a dinâmica da vegetação na bacia do Riacho São José em integração com o ambiente semiárido em que está inserida. Para isso, primeiro foram aprestadas as técnicas operacionais necessárias para utilização de imagens de satélite no recorte temporal de 30 anos; em seguida explicou-se o cálculo utilizado para o índice de vegetação pela diferença normalizada; expôs-se os procedimentos para construção das pirâmides de vegetação; por fim, trouxe-se os índices de diversidade florística.

### **Procedimentos Técnicos e Operacionais das Imagens Landsat 5 e 8**

Os tratamentos e as correções das imagens de satélite são o caminho que permite fazer uso dos fenômenos e das informações contidas nelas. Para isso, foi importante construir o entendimento teórico-metodológico das questões referentes ao tratamento das bandas utilizadas no mapeamento do índice de vegetação, como também das bandas utilizadas no mapeamento de cobertura da Terra (capítulo V), o qual compreende o mesmo recorte espaço-temporal.

Nesse momento, foi importante realizar o entendimento teórico que possibilitou conhecer e refletir sobre a importância do tratamento das bandas utilizadas nos mapeamentos da tese, bem como o trabalho com versões diferentes do satélite landsat.

A esse respeito, os trabalhos de Chander e Markham (2003), Chander, Markham e Barsi (2007) e Chander, Markham e Helder (2009) permitiram conhecer os parâmetros e os

metadados das imagens landsat 5, isso possibilitou realizar a calibração radiométrica das bandas. Sendo que as bandas do vermelho e do infravermelho próximos (3 e 4) possibilitaram detectar a resposta espectral da vegetação e as bandas do vermelho, do infravermelho próximo e do Infravermelho de ondas curtas (3, 4 e 5) são utilizadas no mapeamento da cobertura do Terra.

No tocante a correção radiométrica do landsat 8, os metadados já são disponibilizados junto às bandas pela *United States Geological Survey*, quando feito o download. A USGS (2017) disponibiliza em site ([https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con)) quais são os procedimentos necessários para as correções.

Referente às explicações detalhadas sobre as imagens landsat 8, tem-se a obra feita por Santos *et al.* (2014) e Zani, Duarte e Cruz (2015). As bandas utilizadas no mapeamento dos índices de vegetação e na cobertura da Terra são as mesmas do landsat 5, mas a numeração muda, ou seja, vermelho e infravermelho próximo (4 e 5) possibilitam detectar a resposta espectral da vegetação. Já para mapeamento de cobertura da terra foram utilizadas as bandas do vermelho, infravermelho próximo e Infravermelho de ondas curtas (4, 5 e 6).

Após compreensão teórica dos procedimentos técnicos e operacionais necessários para tratamento das imagens, fez-se uso de arquivos presentes nos bancos de dados 01 e 02 com informações vetoriais, criadas na delimitação da área de estudo e matriciais (as imagens do satélite landsat 5 (INPE) landsat 8, (USGS)).

Tendo a base de dados à disposição, iniciou-se os procedimentos para reprojeção, correção geométrica e calibração radiométrica das imagens. Primeiro colocou-se as bandas utilizadas para UTM e datum SIRGAS 2000, 24 Sul. Essa etapa foi feita para as imagens Landsat 5 e 8 no ambiente SIG do Software *ArcGis* 10.3.1: no “*Arctoolbox*” pela ferramenta “*project Raster*”, disponível na opção “*Data Manegement Tools*”/“*projections and Transformations*”/“*Raster*”.

As bandas landsat 8, disponibilizadas pelo USGS, já são ortorretificadas e projetadas para UTM, assim não precisam passar pela correção geométrica. No entanto, foram reprojctadas para o hemisfério Sul, pois, quando baixadas, estão todas orientadas para o hemisfério Norte.

A correção geométrica feita nas bandas landsat 5 compreendeu o georreferenciamento a partir de pontos de controles obtidos em campo e no *Google Earth*. O processo ocorreu no *ArcGis*, adicionando as bandas, habilitou-se a ferramenta “*Georeferencing*”, opção “*Add Control Points*”, selecionou-se os locais de cada ponto de controle, trocou-se as coordenadas e

encerrou-se o processo na opção “*Rectify*”. No final precisou salvar as bandas georreferenciadas pela importação na ferramenta “*Data/Export Data*”, mantendo o formato TIFF. Essas ações foram aplicadas em todas as bandas do landsat 5, uma por vez.

Feito a reprojeção e georreferenciamento das bandas, o passo seguinte foi a calibração radiométrica, onde é estimado radiância e reflectância, ou seja, processo de convenção dos Números Digitais (ND) para Números Físicos (NF), possibilitando a caracterização espectral de objetos (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPILICH, 2012). Esse procedimento exige dados específicos para cada banda e só ocorreu nas bandas de estimação do NDVI.

Para as imagens do landsat 5, essa etapa ocorreu pela ferramenta do “*Raster Calculador*” presente na caixa de ferramentas do “*Spatial Analyst Tools/Mep Algebra*”, a partir de fórmulas e parâmetros apresentados por Chander, Markham e Helder (2009), Chander, Markham e Barsi (2007) e Chander e Markham, (2003). Além de dados complementares presentes na plataforma de download das imagens do INPE e USGS. O Primeiro processamento foi converter números digitais para radiância, a partir da equação:

$$L_{\lambda} = ( LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda} / 255 ) \cdot Q_{cal} + LMIN_{\lambda}$$

Sendo  $L_{\lambda}$  a radiância espectral na abertura do sensor [ $W / (m^2 \cdot Sr \cdot \mu m)$ ];  $LMAX_{\lambda}$  a radiância espectral máxima [ $W / (m^2 \cdot Sr \cdot \mu m)$ ];  $LMIN_{\lambda}$  a Radiância espectral mínima [ $W / (m^2 \cdot Sr \cdot \mu m)$ ];  $Q_{cal}$  os números digitais a serem convertidos [DN].

Com a radiância, o passo seguinte foi o cálculo da reflectância, o qual converte os valores da radiância a partir da aplicação equação:

$$\rho_p = \pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2 / ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta_s$$

Em que,  $\rho_p$  é refletância planetária sem unidade;  $L_{\lambda}$  a radiância espectral na abertura do sensor;  $d^2$  a distância entre a Terra e o sol em unidades astronômicas;  $ESUN_{\lambda}$  a irradiancias exoatmosféricas solares;  $\theta_s$  o Ângulo zenital solar em graus.

Após essas duas etapas, os números digitais das bandas do landsat 5 foram convertidos para reflectância, tornando as bandas prontas para o cálculo e a análise do índice de vegetação pela diferença normalizada.

Para as bandas do landsat 8, a calibração foi automática pela ferramenta de classificação e a correção atmosférica *Geobia*, extensão desenvolvida para *ArcGis* a partir das versões 10.1 e 10.2, disponível para acesso no site do Centro SIG da Faculdade de Oceanografia e Geografia da Universidade de Gdańsk-Polônia (<http://cgis.oig.ug.edu.pl/CentrumGIS/ptools.html>). Além do download da ferramenta *Geobia*, foi disponibilizado o tutorial e o manual explicativo de suas funções.

A ferramenta *Geobia* é conectada ao *ArcGis* pela caixa de ferramentas “*Arctoolbox*”. Clicando com o botão direito sobre ela, selecionando a opção “*Add Toolbox*” e buscando no computador caixas de ferramentas, seleciona-se a opção “*Landsat8*” e clica em “*open*”, daí a instalação é executada.

Na caixa de ferramentas “*Landsat8*” está presente ferramentas de tratamento das imagens *landsat* 8, as quais são realizadas em três etapas para todas as bandas (com exceção das bandas termais 10 e 11), fazendo uso dos metadados que devem estar numa pasta à parte. Assim foi realizado a composição pancromática, cálculo da radiância e reflectância.

Embora esses procedimentos sejam automáticos pela *Geobia*, equações utilizadas no cálculo da radiância e reflectância das bandas *landsat* 8 estão disponíveis no site da USGS (2017). Lá é apresentado informações sobre os produtos e a conversão dos números digitais para números físicos, bem como informações sobre as bandas termais (10 e 11). Além disso, os cálculos também podem ser executados pela ferramenta “*Raster Calculador*”, feito uma banda por vez, o que tornaria o processo mais demorado e cansativo.

Na primeira etapa do *landsat* 8 foi feita a composição pancromática para preservação dos valores de números digitais e executado na ferramenta “*Pan-sharpening composit*”, presente em “*Landsat8*”. Nessa etapa adicionou no primeiro campo (*Workspace*) a pasta com as bandas; no segundo campo (*Meta data Landsat 8 MTL text file*), os metadados; no terceiro campo (*Area of interest rectangle*), uma área de interesse no formato shapefile (vetor) projetada no sistema de coordenadas utilizadas; no último campo (*Project name*), o processo foi nomeado, selecionada a resolução de 15 m e a composição foi gerada.

Seguindo esse viés, automaticamente são gerados os metadados necessários para a conversão dos números digitais para radiância e reflectância. Após esse processo, na segunda etapa faz-se o cálculo da radiância na ferramenta “*Radiance atmospheric corected*” por meio da equação:

$$L_{\lambda} = M_L \cdot Q_{cal} + A_L$$

Em que  $L_{\lambda}$  é radiação espectral (Watts/(m<sup>2</sup>\*srad\*μm));  $M_L$  o fator de redimensionamento multiplicativo específico da banda presente nos metadados (RADIANCE\_MULT\_BAND\_x, em x é o número da banda);  $A_L$  é fator de redimensionamento aditivo específico da faixa dos metadados (RADIANCE\_ADD\_BAND\_x, em que x é o número da banda);  $Q_{cal}$  valores de pixel do produto padrão (DN) quantizados e calibrados.

Na ferramenta “*Radiance atmospheric corectedI*”, no primeiro campo (*Workspace*), colocou-se a pasta que contém todas as bandas do *landsat* 8 e que foi gerada anteriormente; no

segundo campo (*Meta data text file / from Pan-sharpening composit tool*) adicionou-se os metadados gerados na composição da imagem pancromática; no terceiro campo (*Project name*) nomeou-se o projeto, clicou em “Ok” e os dados de radiância foram calculados.

Com a radiância gerada, vai-se para a última etapa da calibração radiométrica, cálculo da reflectância na ferramenta “*Reflectance atmospheric corrected*” pela da equação:

$$\rho_{\lambda} = (M_p \cdot Q_{cal} + A_p) / \cos \theta_{sz}$$

Sendo  $\rho_{\lambda}$  a reflectância planetária;  $M_p$  o fator de redimensionamento multiplicativo específico da banda dos metadados (REFLECTANCE\_MULT\_BAND\_x, em que x é o número da banda);  $A_p$  o fator de redimensionamento aditivo específico da banda dos metadados (REFLECTANCE\_ADD\_BAND\_x, em que x é o número da banda);  $Q_{cal}$  valores de pixel do produto padrão (DN) quantizados e calibrados;  $\cos \theta_{sz}$  refere-se ao cosseno do zênite solar.

No campo “*Workspace*” da ferramenta “*Reflectance atmospheric corrected*” adiciona a pasta com todas as bandas do *landsat 8* geradas no processamento anteriore; no campo “*Meta data text file /from Pan-sharpening composit tool*” insere-se os metadados gerados; nomeia-se o projeto no campo “*Project name*” e clica em “Ok” para cálculo da reflectância. Concluída essas três etapas, as bandas do *landsat 8* estão prontas para mensuração e análise do NDVI.

### **Cálculo do Índice de Vegetação Pela Diferença Normalizada-NDVI**

O índice de vegetação delineado aqui possibilitou a análise da estrutura horizontal da vegetação da bacia do Riacho São José, representando espacial e temporal como as diferentes fitofisionomias estão distribuídas sobre o terreno, bem como as mudanças dessas ao longo de trinta anos. Isso é possível porque os sensores a bordo do satélite capturam a reflectância da vegetação, regiões do visível (0,4  $\mu\text{m}$  a 0,72  $\mu\text{m}$ ), do infravermelho próximo (0,72  $\mu\text{m}$  a 1,1  $\mu\text{m}$ ) e do infravermelho médio (1,1  $\mu\text{m}$  a 3,2  $\mu\text{m}$ ) por meio do espectro eletromagnético (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPILICH, 2012).

Essas regiões vão ter relações diferentes ao processo de absorção, à reflectância das formações vegetais (tipos fisionômicos dos dosséis) e ao espalhamento da radiação entre as folhas (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPILICH, 2012). Visto que, a fitofisionomia de uma área compreende diferentes estratos vegetais, composição florística com dosséis fechados e abertos.

Além disso, a região do visível é mais útil para análise em folhas isoladas ou uma única camada de folhas sobre a superfície, pois sua reflectância diminui com o aumento de camadas de folhas. Na região do infravermelho médio, a presença de água nas folhas interfere ao

proporcionar maior absorção da radiação e menor reflectância; por sua vez, na faixa do infravermelho próximo ocorre o aumento da reflectância à medida que aumenta o número de camadas de folhas e o espalhamento múltiplo da radiação (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012).

Essas características referentes à interação da vegetação com a radiação eletromagnética são importantes para a compreensão de como o sensoriamento remoto pode ser utilizado no estudo da dinâmica fitogeográfica. Outro fator a ser observado é que “a densidade da vegetação e sua orientação espacial exercem influência na dinâmica da reflectância de um dossel, em função da variação nas geometrias de iluminação e de visada” do sensor (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012, p. 38).

Nesse sentido, o cálculo se faz pela diferença da reflectância entre a faixa do infravermelho próximo (PIVP) e a faixa do vermelho (PV), sendo que a diferença é normalizada pela divisão entre a diferença e a soma das faixas de PIVP – PV (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012), a partir da seguinte equação:

$$NDVI = (PIVP - PV) / (PIVP + PV)$$

Em que NDVI é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; PIVP corresponde a faixa do infravermelho próximo; e PV a Faixa do vermelho.

A aplicação da fórmula do NDVI foi realizada no ambiente SIG do *ArcGis* 10.3.1 pela ferramenta “*Raster Calculador*” presente na caixa de ferramenta “*Spatial Analyst Tools / Map Algebra*”. Os resultados do índice variam de -1 a 1, representados em tons de cinza, em que quanto mais claro, maior a concentração de vegetação; pelo contrário, quanto mais escuro os pixels, menor será a presença vegetal (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012).

Gerado o NDVI, o passo seguinte é a classificação da vegetação em cinco classes: vegetação arbórea, vegetação arbórea arbustiva, vegetação arbustiva, vegetação herbácea e ausência de vegetação. A escolha por essas classes foi feita a partir dos campos e a coleta de pontos de controle para cruzar com os valores de NDVI obtidos, tendo como referência a proposta de classificação feita por Francisco *et al.*, 2012 e Francisco *et al.*, 2015.

A classificação foi realizada na ferramenta “*Reclassify*”, opção “*Break Values*” presente na caixa de ferramenta “*Spatial Analyst Tools/Reclass*”. Em que: de -1 a 0,200 corresponde a ausência de vegetação, compreendendo solo exposto e afloramento rochoso; de 0,201 a 0,240 representa vegetação herbácea; de 0,241 a 0,300 abrange vegetação arbustiva; de 0,301 a 0,350 abarca vegetação arbórea e arbustiva; acima de 0,351 está a vegetação de porte arbóreo.

Vale ressaltar que a formação vegetal pode ser fechada ou aberta. O primeiro caso é comum às áreas de difícil acesso humano: encostas íngremes e fundos de vales estreitos, onde predomina vegetação primária; já para o segundo caso algumas áreas são de vegetação secundária e é comum o desenvolvimento de algumas atividades antrópicas. Nas formações herbáceas pode ser de gramíneas ou alguma atividade agrícola.

A classificação do NDVI foi quantificada a partir da criação de uma tabela de atributos pela ferramenta “*Zonal Geometry as Table*” presente na caixa “*Spatial Analyst Tools / Zonal*”. Para facilitar a conversão numérica dos dados, a tabela foi aberta e salva no formato texto e depois aberta no *excel*, onde as áreas foram convertidas para Km<sup>2</sup> e porcentagem. Já a imagem do NDVI, no formato *raster*, foi transformado em polígono, isso se fez na ferramenta “*Raster to Polygon*” presente na caixa de ferramenta “*From Raster/Conversion Tools*”. Feito a conversão, fez-se o mapa com *layout* de acordo com as normas cartográficas (MARTINELLI, 2013; 2014).

### **Procedimentos para Construção das Pirâmides de Vegetação-PV**

A estrutura vertical da composição florística foi delineada de acordo com os estratos de vegetação pela representação gráfica de Pirâmides de Vegetação (PV), método de estudo fitogeográfico desenvolvido por Bertrand em 1966. Os procedimentos para a construção e análise das PV fizeram uso de dados fitossociológicos, adaptados para melhor responder às questões biogeográficas e ao desenvolvimento de atividade de campo (BERTRAND, 1966).

Segundo Passos (2003; 2017), a elaboração das pirâmides de vegetação possibilita uma visão significativa da cobertura vegetal, tendo como seguimento a estrutura vertical e os diferentes substratos. Logo, a construção das PV seguiu duas etapas: preenchimento das fichas biogeográficas e a representação gráfica na forma de pirâmides.

### **Ficha biogeográfica**

É onde se organiza as informações fitossociológicas identificadas em campo (Anexo B). Assim, primeiro foi escolhido as áreas de aplicação das fichas biogeográficas identificando setores representativos das formações vegetais e delimitado um círculo com raio de 10m. Essa escolha foi auxiliada e facilitada com o mapeamento da vegetação através do NDVI, pois ele permitiu identificar no terreno da BRSJ a variação espacial e temporal da vegetação apontando as áreas mais representativas, as quais não variaram muito ao longo dos 30 anos observados nas imagens de satélite. Essa proposta foi desenvolvida por Chaves e Melo & Souza (2019).

Nos pontos elencados para o trabalho de campo, fez-se o preenchimento das fichas com informações da composição florística (principais espécies e os diferentes estratos vegetais); identificação dos aspectos geográficos que influenciam na formação vegetal (clima, solo, substrato geológico e morfológico, altitude e inclinação da vertente) com base na cartografia temática (capítulo III); verificação da abundância-dominância das formações vegetais, ou seja, quanto aproximadamente a área selecionada está coberta pelas espécies; e verificação da sociabilidade da vegetação estudada, ou seja, o modo de agrupamento das plantas (Quadro 04).

Quadro 04: Percentual de abundância-dominância e sociabilidade da vegetação.

<b>Percentual de Abundância-Dominância</b>	<b>Modo de Agrupamento da Sociabilidade</b>
5 - Cobrindo entre 75% à 100%.	5 - População contínua; manchas densas.
4 - Cobrindo entre 50% à 75%.	4 - Crescimento em pequenas colônias; manchas densas pouco extensas.
3 - Cobrindo entre 25% à 50%.	3 - Crescimento em grupos.
2 - Cobrindo entre 10% à 25%.	2 - Agrupados em 2 ou 3.
1 - Planta abundante, porém com valor de cobertura baixo não superando a 10 %.	1 - Indivíduos isolados.
+ - Alguns raros exemplares.	+ - Planta rara ou isolada.

Fonte: BERTRAND, 1966. Organização: A. M. S. CHAVES, 2018.

Registros fotográficos das formações vegetais para cada pirâmide foram feitos durante o campo de preenchimento das fichas biogeográficas. Isso ajudou na análise da abundância-dominância feita de acordo com os diferentes substratos vegetais identificados (arbóreo, arborescente, arbustivo, subarbustivo, herbácea e camada de serapilheira).

### **Pirâmide de Vegetação**

É a representação gráfica dos conjuntos de vegetações observadas em quatro pontos selecionados na bacia do Riacho São José, com raio de 10m. Teve como ponto de partida a classificação das espécies de acordo com as diferentes alturas verticais, isto é, por meio da distribuição dos estratos (Quadro 05); na sequência foi feito a estratificação da vegetação aplicando a escala de abundância-dominância de espécies (número dos diferentes estratos encontrados). Desses procedimentos derivaram as pirâmides de vegetação.

A elaboração das pirâmides de vegetação (Figura 04) pode ocorrer em ambiente digital ou em papel milimétrico, em que se faz uma linha reta horizontal de 10 cm de comprimento. Nesta base, no meio da linha, ergue-se perpendicularmente o eixo da pirâmide e simetricamente em relação ao eixo, dispõe-se os diferentes estratos vegetais, considerando suas ordens de sobreposição e de recobrimento (abundância-dominância 1 = 1 cm, 2 = 2 cm, 5 = 5 cm). Assim,



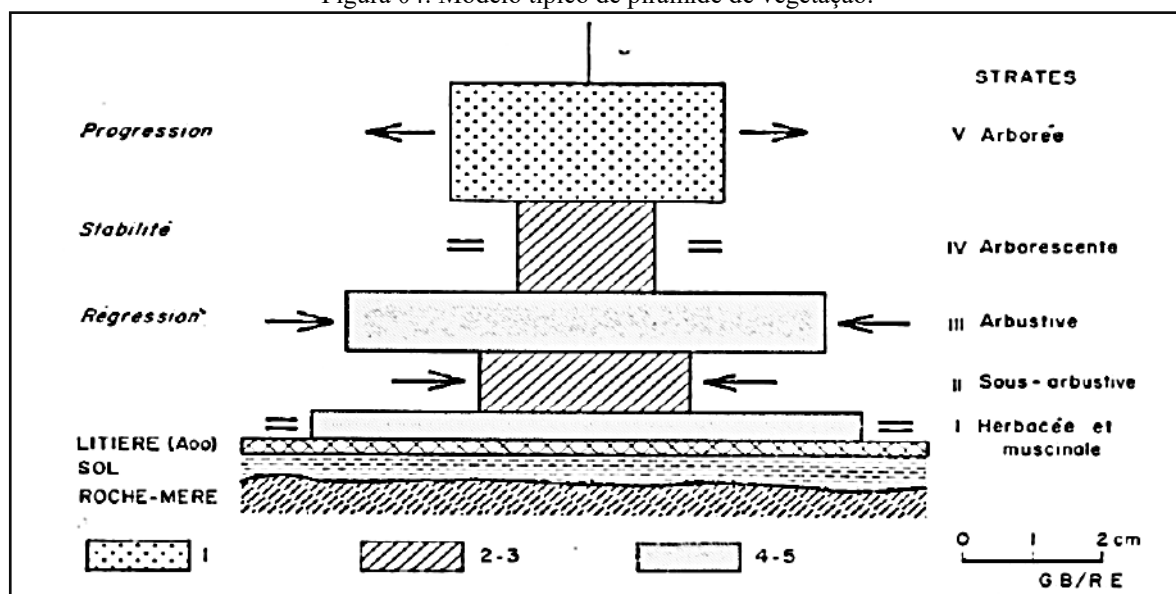
a espessura de cada substrato por camada para a construção e a interpretação da pirâmide de acordo com Bertrand (1966) é de: estrato 1 = 0,5 cm; estrato 2 e 3 = 1 cm; estrato 4 = 1,5 cm; estrato 5 = 2 cm.

Quadro 05: Altura dos diferentes estratos vegetais.

Altura Média por Estratos	
5. Estrato arbóreo.....	acima de 7 m.
4. Estrato arborescente.....	3 - 7 m.
3. Estrato arbustivo.....	1 - 3 m.
2. Estrato subarbustivo.....	0,50 - 1 m.
1. Herbácea camada de musgo.....	0 - 0,50 m.

Fonte: BERTRAND, 1966.

Figura 04: Modelo típico de pirâmide de vegetação.



Fonte: BERTRAND, 1966.

As flechas e os sinais de igualdade na pirâmide identificam a dinâmica dos estratos em: “← Progressiva →”, “→ Regressiva ←” e “= Equilíbrio =”. Para melhor expressar as condições locais, pode-se inclinar a PV de acordo com exposição do escoamento superficial, de modo que o arranjo de representação toma seguimento referente ao modelado do terreno.

A construção final das pirâmides ocorreu no programa *Microsoft Publisher* e no software *Inkscape* 0.92.4, os quais possibilitaram traçar desenhos e edições de gráficos vetoriais e formas geométricas a partir da régua e de linhas de bases para delinear os diferentes estratos vegetais, obedecendo os limites métricos para a abundância e a dominância por estrato na estrutura vertical.

## **Diversidade Florística**

Para fechar o delineamento da dinâmica fitogeográfica da bacia do Riacho São José, mensurou-se a diversidade florística a partir de medidas de diversidade, foram elas: diversidade (Shannon), equitabilidade/uniformidade (Pielou) e dominância (Simpson). Tais medidas foram realizadas a partir dos dados obtidos em campo, os mesmos utilizados na construção das Pirâmides de vegetação, mas considerando apenas as espécies subarbustivas, arbustivas, arborescentes e arbóreas.

De modo geral, compreende-se que o uso de índices possibilita sintetizar as informações em valores para realização de comparações por verificações estatísticas de diferentes áreas amostradas (MORENO, 2001). A base dos índices indicados é a determinação da riqueza específica das espécies, o número total de espécies ( $S$ ), a abundância das espécies, e o número total de indivíduos ( $N$ ) em uma amostra definida (MAGURRAN, 1988; 2004)

Para estimar a diversidade, as fichas biogeográficas foram transformadas em matrizes, no *excel*, as quais compreenderam a relação entre a quantidade e a distribuição das espécies (dispostas nas colunas) dos quatros pontos amostrados ao longo da bacia estudada (linhas da matriz) para mensuração no *software* RStudio. Os índices são não paramétricos e explicados por expressão matemática simples de acordo com a abundância relativa de cada espécie na amostra (MELO, 2008).

Assim, antes das medidas especificadas de diversidade, foi analisado a distribuição das espécies e a relação de abundância por amostra em conjunto (considerando a bacia representada pelo total das amostras), por meio de diagrama de distribuição e diagrama de curvas de dominância.

### **Índice de diversidade Shannon - H**

Derivado da Teoria da Informação, o índice de diversidade de Shannon compreende métrica do grau de incerteza dentro da seleção aleatória de uma espécie dentro de uma amostra utilizada na quantificação da biodiversidade específica, refletindo a heterogeneidade de um ambiente (amostra) de acordo com o número de espécies presentes e sua equabilidade (PLA, 2006; MELO, 2008). O referido índice é alcançado a partir da equação:

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \log_b p_i$$

Em que:  $p_i$  é a proporção de espécies;  $i$ ,  $S$  é o número de espécies e  $b$  é a base do logaritmo neperiano.

### **Índice de Equitabilidade/Uniformidade de Pielou - J**

Procedido do índice de diversidade de Shannon, tem o objetivo de representar a uniformidade da distribuição dos indivíduos entre as espécies existentes (PIELOU, 1966; MAGURRAN, 1988) para medir “[...] a proporção da diversidade observada em relação à diversidade máxima esperada” (MORENO, 2001, p. 44). O mesmo é expresso pela equação:

$$J = \frac{H'}{H_{max'}}$$

Em que  $H'$  é o Índice de Shanon-Wiener e  $H_{max'}$  é dado pela expressão  $max'=\log bs$

### **Índice de Dominância de Simpson - D**

Compreende parâmetros inversos ao conceito de uniformidade ou equidade da comunidade, pois consideram a representatividade das espécies com o maior valor de importância sem avaliar a contribuição do resto das espécies (MORENO, 2001), conforme a equação:

$$D = \left( \frac{\sum_{i=1}^n n_i X (n_i - 1)}{N (N - 1)} \right)^n$$

Em que  $n_i$  é o número de indivíduos de cada espécie;  $N$  é o número de indivíduos.

Por fim, diante do conjunto de metodologias e procedimentos apresentados, acredita-se que foi possível colocar em tela o delineamento da dinâmica fitogeográfica da bacia do Riacho São José desde os aspectos gerais (com o mapeamento do NDVI) às informações específicas sobre a estrutura da vegetação e espécies florísticas.

## **2.6 Construção do Mapeamento da Cobertura da Terra e Identificação da Prestação de Serviços Ecológicos**

O presente tópico apresenta os procedimentos técnicos e operacionais realizados no mapeamento da cobertura da terra e a identificação dos serviços ecológicos existentes na bacia do Riacho São José, conforme o objetivo de “apresentar a evolução espaço-temporal de padrões da cobertura e uso da Terra e a prestação dos serviços ecológicos”.

Para isso, primeiramente é apresentado a organização política e administrativa da bacia do Riacho São José por meio de informações oficiais disponibilizadas pelo IBGE em correspondência ao último censo demográfico (<https://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>) que ocorreu em 2010.

Em específicos, utilizou-se dados espaciais (vetores) e quantitativos (domicílios e população) que tiveram como referência os setores censitários disponibilizados pelo IBGE com informações referentes à divisão política, administrativa e populacional.

### **Mapeamento da Cobertura da Terra**

Para uma visualização da espacialização da superfície terrestre da bacia do Riacho São José, observou-se a composição do espaço geográfico por meio dos elementos naturais (vegetação, águas e relevo), os usos e as construções antrópicas resultantes da apropriação territorial e fez-se o mapeamento da cobertura da Terra.

O mapeamento foi espacial e temporal, feito através de interpretação e classificação de imagens de satélite landsat 5 (Bandas 3, 4 e 5) e 8 (Bandas 4, 5 e 6), compreendendo um intervalo de tempo de trinta (30) anos: 1985, 1995, 2005, 2015. O mesmo ocorreu no ambiente SIG do *ArcGis* 10.3.1. Os procedimentos adotados foram: calibração radiométrica, correção geométrica das imagens, reprojeção para UTM e datum SIRGAS 2000.

As etapas seguintes foram a composição colorida (RGB), a identificação e a interpretação dos diferentes modos de cobertura da Terra. Nesse processo, teve-se como auxílio a chave de interpretação desenvolvida por Florenzano (2011) e adotou-se a Classificação da Cobertura e o Uso Da Terra (SCUT) do IBGE (2013) em nível geral, conforme descrição apresentada no quadro 06.

O método de classificação adotado foi a máxima verossimilhança (*Maxver*), ou seja, a classificação supervisionada, a qual o pesquisador ou analista tem um conhecimento prévio da área estudada e pode fornecer amostras das classes estabelecidas (FLORENZANO, 2011).

Quadro 06: Classificação da cobertura e uso da terra.

Classificação da Cobertura e Uso Da Terra (SCUT)		
Classe	Cobertura	Descrição
1	Áreas de Vegetação Natural - AVN	Formações primária e secundária
2	Áreas Antrópicas Agrícolas - AAA	Agricultura e pastagem
3	Outras Áreas - OAN	Solo exposto, construções e área não identificada
4	Água - AGU	Reservatórios

Fonte: IBGE, 2013. Organização: A. M. S. CHAVES, 2018.

Assim, selecionou-se amostras em pontos das classes pré-estabelecidas (usos antrópico, áreas naturais e outros - solo exposto e usos não identificado) por meio da criação de pontos com registro espectral da superfície terrestre. Para isso, fez-se mapas de pontos no formato *shepfile* na projeção UTM e *datum* SIRGAS 2000, habilitou-se o editor e sobre a composição RGB clicou-se o máximo de vezes possível em cada classe, sendo uma por vez.

Após ter os pontos de uma classe, na tabela de atributos, selecionou-se a coluna “Id” e na ferramenta “*Field Calculator*” adicionou o valor representativo de cada classe (1, 2, 3 ou 4). Essa ação foi repetida para cada uma das classes identificadas. Em seguida, os pontos foram registrados fazendo uso da ferramenta “*Create Signatures*” da caixa “*Spatial Analyst Tools/Multivariate*”, em que foi adicionada a imagem RGB, depois colocou os pontos com registro feitos e salvou o processamento. Vale destacar que esse processo captura a resposta espectral da imagem.

Tendo os registros das respostas espectrais da cobertura da terra, a etapa seguinte foi classificar a bacia através da ferramenta “*Maximum Likelihood Classification/Multivariate*”. Para tanto, adicionou-se a imagem colorida da área de estudo e as assinaturas criadas no processo anterior. Feito isso, gerou-se uma nova imagem classificada de acordo com a numeração registrada para cada classe, e, por fim, finalizou-se o mapeamento seguindo as normas cartográficas adotadas, conforme Martinelli (2013; 2014).

Como o mapeamento não é em detalhe, o trabalho de campo foi essencial para o conhecimento da área estudada em suas especificidades locais, para isso trouxe-se os registros fotográficos para representar a realidade local vivenciada no conhecimento da bacia e a sua configuração territorial.

## Sistema Territorial e a Identificação de Serviços Ecossistêmicos

Após o mapeamento da cobertura da bacia do Riacho São José, pôde-se analisar a organização territorial e identificar os serviços ecossistêmicos prestados, os quais são decorrentes da dinâmica e das funções dos ecossistemas existentes, gerando benefícios direto ou indiretamente ao bem-estar humano.

Assim, entendendo o território da bacia do Riacho de São José como um sistema, buscou-se mapear e identificar os equipamentos que prestam serviços básicos à população, como saúde, educação, lazer, entre outros. Nessas relações, destaca-se a aptidão natural do ambiente da caatinga, domínio que integra relações entre a vegetação e a fauna com funções e valor de uso pelo homem. Uma vez que os elementos naturais prestam serviços ecossistêmicos (SE) direto e indiretamente são utilizados pela sociedade.

A identificação da prestação de serviços ecossistêmicos normalmente é feita a partir de entrevistas com a população que habita a área estudada, no entanto, aspectos subjetivos da importância de um serviço em relação a outro varia muito a depender da relação individual que cada um estabelece com o meio ambiente em que vive.

Nesse contexto, para evitar tal subjetividade pelas diferentes apreensões dos sujeitos que vivem na área da bacia do riacho São José, foi adotado como meio de para identificação dos SE a formação de uma equipe interdisciplinar das áreas de Geografia, História, Arqueologia, Biologia, Agroecologia e Agronomia, que compreende pesquisadores integrantes do grupo do de Estudo do Vale do São José, pessoas que pesquisam e conhecem a área em estudo.

O primeiro passo foi a apresentação formal dos aspectos teóricos e metodológicos do que são os serviços ecossistêmicos e as orientações técnicas de Classificação Internacional Comum de Serviços de Ecossistemas (CICES) em sua versão 5.1 (HAINES-YOUNG; POTSCHIN, 2018). Momento em que a tabela CICES foi delimitada até a coluna a ser trabalhada (Quadro 07).

A partir do quadro, identificou-se a prestação dos serviços de provisionamento, de regulação e manutenção e culturais para os componentes bióticos e abióticos da BRSJ. Tudo isso de acordo com as diferentes classes de cobertura da Terra. Para isso, trabalhou-se até a coluna “classe”, a qual exemplifica os SE prestados. A versão da tabela adaptada para a BRSJ encontra-se no anexo C.

Quadro 07: Exemplo dos níveis de identificação dos serviços ecossistêmicos.

CICES 5.1			
Seção	Divisão	Grupo	Classe
<b>Provisionamento</b>	Ex.: Biomassa	Ex.: Plantas terrestres cultivadas para nutrição, materiais ou energia	Ex.: Plantas terrestres cultivadas (incluindo fungos, algas) cultivadas para fins nutricionais
<b>Regulação e Manutenção</b>	Ex.: Transformação de insumos bioquímicos ou físicos em ecossistemas	Ex.: Mediação de resíduos ou substâncias tóxicas de origem antropogênica por processos vivos	Ex.: Remediação biológica por microrganismos, algas, plantas e animais
<b>Cultural</b>	Ex.: Interações diretas, in situ e ao ar livre, com sistemas vivos que dependem da presença no ambiente ambiental	Ex.: Interações físicas e experienciais com o ambiente natural	Ex.: Características dos sistemas vivos que possibilitam atividades que promovam saúde, recuperação ou diversão por meio de interações ativas ou imersivas

Fonte: CICES, 2019. Organização e tradução: A. M. S. CHAVES, 2019.

No quadro de SE adaptada para BRSJ foi acrescentado novas colunas referentes aos serviços identificados, aos usos, aos exemplos e à sua identificação nas classes de cobertura da terra. Por fim, fez-se a análise dos impactos negativos e positivos relacionados aos serviços ecossistêmicos.

Seguindo a ordem estabelecida no quadro, a identificação dos SE foi realizada pela equipe interdisciplinar em dois momentos complementares: trabalho de campo e de gabinete:

- ✓ **O trabalho de campo** teve a finalidade de verificar a prestação de SE, como também a realização de registros fotográficos. Como todos os integrantes da equipe realizam ou já realizaram alguma pesquisa na área estudada, esse fator ajudou nos trabalhos logísticos da escolha do percurso traçado e na análise dos serviços intelectuais autorizados pelo ecossistema.
- ✓ **O trabalho de gabinete** envolveu reuniões, tabulações de dados, identificação e revisão final de todos os serviços. Tudo isso junto ao preenchimento da tabela e da tabulação dos dados na plataforma *RAW Graphs*, ferramenta gratuita e *online* que possibilita a visualização de dados de planilhas por meio de gráficos e esquemas de associação (MAURI *et al*, 2017).

### **Validação do Mapeamento de Cobertura da Terra**

Para validação dos mapas de Uso e Cobertura da Terra da presente tese, se fez uso da matriz de confusão ou matriz de erros e coeficientes de concordância derivados dela: índices da Exatidão Global ( $P_o$ ) e do índice de Kappa (K), técnicas amplamente utilizadas para avaliar a

acurácia de mapeamentos temáticos (BOLFE *et al*, 2004; FIGUEIREDO; VIEIRA, 2007; BRITO, 2008; PRADO, 2009; PASSO, 2013; SOUZA *et al*, 2019). Porém, antes de se trazer as matrizes de confusão e os índices mensurados, é necessário abordar algumas observações importantes sobre os mapas da tese, apresentando o porquê de aferir a acurácia apenas para o mapeamento de Uso e a Cobertura da Terra:

- Os mapas temáticos utilizados na caracterização geoecológica não são validados por tais métricas, visto derivarem de dados secundários;
- Os mapas de fenômenos como o NDVI e TST não são validados por essas técnicas devido ao fato de representar fenômenos derivados de procedimentos específicos facilmente mutáveis de uma data para outra, sem que seja possível visualizar essa mudança por classificação supervisionada devido a resolução espacial das imagens landsat. No entanto, para o NDVI utilizou-se coordenadas de campo e trabalhos acadêmicos para definir os intervalos dos índices e as suas classes correspondentes;
- A acurácia só foi aplicada ao mapeamento de cobertura da Terra tendo como base coordenadas obtidas em campo (entre 2017 e 2019) e pontos aleatórios estratificados por classes. Estes foram capturadas a partir das imagens coloridas (RGB) utilizadas para a classificação de usos e da cobertura da terra para verificar se a classificação ficaria compatível com os dados observados a priori.
- Por se tratar de ambiente semiárido, a classe água só foi representada em pontos coletados nas próprias imagens, isso devido a três fatores: primeiro, a bacia do Riacho São José não possui reservatórios de grandes extensões, por conta disso, são poucos os possíveis de classificação; segundo, a depender do tempo climático, geralmente anos secos, a maioria dos reservatórios secam e na ausência de água se tornam área de solo exposto; terceiro, não se tem dados com datas de construção dos atuais reservatórios, logo não se pode indicar quais já existiam entre 1985 a 2015.

Dados os esclarecimentos, traz-se a descrição de como foi procedido a mensuração da acurácia do mapeamento espaço temporal de uso e cobertura da Terra. Assim, ocorreu por meio de processos em ambiente SIG do *ArcGis* 10,3,1 e no editor de planilhas Microsoft Excel 2013, fazendo usos de 50 páreas de coordenadas obtidas em campo e mínimo de 100 extraídas da composição RGB das imagens utilizadas (1985, 1995, 2005 e 2015).

Como a matriz de confusão é tida como uma eficiente forma de mensurar a acurácia de mapas temáticos (CONGALTON, 1991; CONGALTON; GREEN, 2009), a presente pesquisa seguiu as orientações de construção apresentadas por Congalton (1991) e Congalton e Green



(2009) (Tabela 02). Para esses pesquisadores, a matriz quadrada é preenchida por Números (N) definidos em linha e colunas: as colunas correspondem aos dados de referência (amostras da validação), sendo a coluna marginal a Soma ( $\Sigma$ ) do total de amostras correspondente a uma classe; as linhas indicam as classes de mapeamento (o mapa a ser avaliado), sendo a linha marginal a Soma ( $\Sigma$ ) total de pontos de referência correspondentes a uma categoria Amostrada; a diagonal representa as amostras corretamente classificadas.

Tabela 02: Matriz de confusão.

		Dados de Referência				
		Pontos AVN	Pontos AAA	Pontos OAN	Pontos AGU	Total
Classes do Mapa	AVN	$N_{AVN/AVN}$	$N_{AVN/AAA}$	$N_{OAN/AVN}$	$N_{AGU/AVN}$	$\Sigma$
	AAA	$N_{AAA/AVN}$	$N_{AAA/AAA}$	$N_{OAN/AAA}$	$N_{AGU/AAA}$	$\Sigma$
	OAN	$N_{OAN/AVN}$	$N_{OAN/AAA}$	$N_{OAN/OAN}$	$N_{AGU/OAN}$	$\Sigma$
	AGU	$N_{AGU/AVN}$	$N_{AGU/AVN}$	$N_{AGU/OAN}$	$N_{AGU/AGU}$	$\Sigma$
	Total	$\Sigma$	$\Sigma$	$\Sigma$	$\Sigma$	$\Sigma \Sigma$

Fonte: CONGALTON; GREEN, 2009. Organização: A. M. S. CHAVES, 2020.

A matrizes apresentadas, quando preenchidas com os dados reais, ou seja, classes do mapa e os pontos de referência, possibilitam estimar inúmeros coeficientes de concordância. No entanto, aqui se aplicará dois: o índice de exatidão global ( $P_o$ ) desenvolvido por Hellden e Stern em 1980 e o índice de Kappa (K), proposto por Cohen (1960).

O índice de exatidão global ( $P_o$ ) é mensurado a partir da razão (divisão) entre a soma de todos os pontos de referência (amostras) corretamente classificados no mapa temático (presente na diagonal pelo cruzamento das classes mapeadas e os pontos de referência correspondente) pela quantidade total de amostras utilizadas como referência, conforme a equação:

$$P_o = \frac{\sum_{i=1}^K x_{ii}}{N}$$

Em que  $P_o$  é Coeficiente de Exatidão Global;  $x_{ii}$  os Elementos da diagonal principal da matriz de confusão; N os Número total de pontos da matriz de confusão.

Por sua vez, o índice de Kappa (K) apresenta limite inferior de 0,00, relacionado a valores negativos e limite superior de 1,00, o qual compreende a perfeita concordância e valores positivos (COHEN,1960). Nesse sentido, quanto mais próximo de 1,00 for o coeficiente K, maior qualidade possui o mapa em sua classificação e inversamente quando mais próximo de 0,00 menor a qualidade do mapa. Esse índice compreende todos os produtos das somas

presentes na matriz de confusão (diagonal, coluna marginal e linha marginal), como mostrado na equação 02.

$$K = \frac{(N \sum_{i=1}^C x_{ii} - \sum_{i=1}^C (x_i + x + i))}{(N^2 - \sum_{i=1}^C x_i + x + i)}$$

Em que K é coeficiente Kappa;  $x_{ii}$  a soma (total) de elementos da diagonal principal da matriz de confusão;  $x_i$  a soma (total) dos elementos classificados nas linhas da matriz de confusão;  $x + i$  a soma (total) dos elementos de referência nas colunas da matriz de confusão; N o Número total de Pontos da matriz de confusão;  $N^2$  o Número total de Pontos ao quadrado da matriz de confusão.

O resultado desse último índice, concordância (K), é comparado com a tabela proposta por Landis e Koch (1977), pois elas classificam a variação do índice de péssimo a excelente (Tabela 03), indicando assim a qualidade do mapeamento avaliado.

Tabela 03: Avaliação da qualidade do mapa de acordo com o índice de Kappa.

Índice de Kappa	Desempenho
< 0.00	Péssimo
0.00 – 0.20	Ruim
0.21 – 0.40	Rosável
0.41 – 0.60	Bom
0.61 – 0.80	Muito Bom
0.81 – 1.00	Excelente

Fonte: LANDIS e KOCH, 1977. Organização: A. M. S. CHAVES, 2020.

Diante do exposto, para avaliar a acurácia do mapeamento espaço temporal da cobertura da Terra da presente tese, fez-se usos de dados de referências (pontos de controles) obtidos em campo e capturados a partir de imagens utilizadas na classificação (antes de realizar a classificação) em composição RGB. Pois, por se tratar de um mapeamento espaço temporal, só os pontos coletados em campo não compreendem uma amostra confiável, visto que de uma data de obtenção da imagem (ex: 1985) para a data de outra imagem (ex: 2015) ocorrem mudanças na cobertura da Terra, por esse motivo fez-se a captura de pontos de referência nas imagens de satélite correspondentes ao ano de mapeamento.

Vale ressaltar que os pontos de referência foram coletados de modo a compor uma amostragem aleatória estratificada, assegurando um número mínimo de amostra por estrato (classes do mapeamento), de modo a obter amostras de todas as classes mapeadas: Área de

Vegetação Natural (AVN), Áreas Antrópicas Agrícolas (AAA), Outras Áreas (OAN) e Água (AGU).

O primeiro passo para aferir a acurácia dos mapas compreendeu a construção de uma planilha com dados obtidos em campo, pautado na identificação de coordenadas aos elementos da paisagem representada, exemplo: área de caatinga arbórea arbustiva, área de pastagem, área de solo exposto. A referida planilha foi reorganizada em quatro colunas: Ponto, X, Y e Z, em que ponto faz referência à numeração das coordenadas (1, 2, 3, 4, n..., 50), X e Y correspondem às coordenadas (UTM – SIRGAS 2000) e Z à descrição de acordo com a classificação utilizada no mapeamento (Apêndice A).

A planilha foi inserida no software *ArcGis* 10.3.1 para conversão dos pares de coordenadas em pontos no formato *shp*. e posteriormente fez-se a captura dos demais pontos no formato *shp*. de forma aleatória por estratificação, buscando uma equivalência entre a quantidade de pontos e o tamanho das classes de mapeamento a serem validadas. Sendo assim, juntou-se em uma única tabela os 50 pontos obtidos em campo (19 correspondiam à paisagem de vegetação, 17 à área de solo exposto ou afloramento rochoso e 14 à área de pastagem e agricultura) com os pontos capturados nas imagens RGB.

Em vista disso, construiu-se, assim, planilhas de amostragem aleatória estratificadas com pontos de referência no formato *shp*., os quais foram distribuídos de acordo com as classes de cobertura da Terra. Além disso, foram estimados o mínimo de 150 pontos de amostras por mapa, sendo reservado o mínimo de 20 pontos para classe OAN e 10 pontos para classe água, visto se precisar de uma quantidade representativa para essas áreas que correspondem a menos de 10% de área territorial da bacia.

### **Construção das Matrizes de Confusão para Acurácia dos Mapas**

Seguindo as orientações apresentadas por Congalton (1991) e Congalton e Green (2009), a construção da matriz de confusão para o presente estudo compreendeu processamentos no ambiente SIG e no *Excel*, os quais são descritos a seguir:

- I. Revisão e organização das planilhas com dados de referência para cada classe presente no mapa. Visto que, além dos pontos e da informação do tipo de cobertura (X, Y e Z), nas planilhas é acrescentado uma coluna com informações numéricas correspondendo as classes mapeadas, de modo que os pontos de referência sigam a mesma ordem da classificação do mapa em avaliação, exemplo: mapa 2015 – AVN = classe 1 / planilha de pontos de referência – AVN = classe 1; mapa 2015 – AAA = classe 2 / planilha de

pontos de referência – AAA = classe 2; mapa 2015 – OAN = classe 3 / planilha de pontos de referência – OAN = classe 3; mapa 2015 – AGU = classe 4 / planilha de pontos de referência – AGU = classe 4. Essa sequência foi seguida em todos os mapas e planilhas, para isso o mapeamento precisou estar classificado de acordo a priori;

- II. Com as planilhas revisadas e organizadas no *arcGis*, os pontos de referência no formato *shp*. foram convertidos para o formato raster (*tiff*.), com resolução de 30m (compatível com o tamanho dos pixels classificados nos mapas), por meio das ferramentas “*Conversion Tools – To Raster – Pont to Raster*”;
- III. Em posse dos pontos de referência no formato *tiff*., no SIG se fez a combinação desses com as classes do mapeamento (também no formato *tiff*.) pelas ferramentas “*espatial analysti tools – Local – Combine*”. Após combinação, abriu-se a tabela de atributos do raster “combinado” e ela foi exportada no formato “*dBASE table*”;
- IV. Ainda no *ArcGis*, importou-se a tabela produzida na etapa anterior para compor a matriz de confusão. Para isso, nas ferramentas “*Data Management Tools – Table – Pivot Table*” seleciona a tabela “*combinada*”, especifica a coluna com as classes de mapeamento a serem validadas. Após isso, a coluna de validação e a coluna de conjunto gera a matriz de confusão que deve ser exportada no formato “*Text File*” para ser aberta e editada no *excel*, onde foram mensurados os coeficientes de exatidão global e Kappa, estimando assim a acurácia;
- V. No *excel*, finalizou-se a matriz de confusão fazendo a soma dos elementos da diagonal principal, das linhas e das colunas. Em posse desses totais, fez-se os índices de exatidão global e de Kappa seguindo as fórmulas apresentadas anteriormente.

### **Acurácia do mapeamento de usos e cobertura da Terra da Bacia do Riacho São José**

Como apresentado, a validação dos mapas de uso e a cobertura da Terra da presente tese foram feitas a partir da construção de matrizes de confusão e do cálculo de dois índices, o coeficiente de exatidão Global e o de Kappa. Técnicas estas amplamente utilizadas na literatura (CONGALTON, 1991; BOLFE *et al*, 2004; FIGUEIREDO; VIEIRA, 2007; BRITO, 2008; CONGALTON; GREEN, 2009; PASSO, 2013; SOUZA *et al*, 2019).

É importante salientar que as matrizes de confusão possibilitam inúmeras análises, como apresentado por Congalton e Green (2009) e Souza *et al*. (2009). No entanto, a intenção aqui foi apenas mensurar a acurácia dos mapas por meio dos índices indicados, pois não se fará uma

longa discussão dos dados apresentados. Ao apresentar o índice de exatidão global e o índice de Kappa, acredita-se que esses dois índices de concordância tragam uma visão geral.

De modo geral, as matrizes de confusão construídas para os mapas (Tabelas 04, 05, 06 e 07) revelaram que as classes avaliadas apresentam acurácias dentro do desejado, com índices de exatidão global acima de 70% e o de Kappa acima de 0,54%, sendo considerados mapas de qualidade “muito bom” e “bom”.

Tabela 04: Matriz de confusão 1985.

		Dados de Referência				
		Pontos AVN	Pontos AAA	Pontos OAN	Pontos AGU	Total
Classes do Mapa	AVN	47	4	1	7	59
	AAA	5	71	17	0	93
	OAN	0	2	16	4	22
	AGU	0	0	0	0	0
	Total	52	77	34	11	174

Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.

Tabela 05: Matriz de confusão 1995.

		Dados de Referência				
		Pontos AVN	Pontos AAA	Pontos OAN	Pontos AGU	Total
Classes do Mapa	AVN	55	5	4	7	71
	AAA	5	64	15	5	89
	OAN	0	2	13	0	15
	AGU	0	0	0	1	1
	Total	60	71	32	13	176

Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.

Tabela 06: Matriz de confusão 2005.

		Dados de Referência				
		Pontos AVN	Pontos AAA	Pontos OAN	Pontos AGU	Total
Classes do Mapa	AVN	53	19	6	8	86
	AAA	4	50	5	1	60
	OAN	3	6	20	2	31
	AGU	0	0	0	1	1
	Total	60	75	31	12	178

Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.

Tabela 07: Matriz de confusão 2015.

		Dados de Referência				
		Pontos AVN	Pontos AAA	Pontos OAN	Pontos AGU	Total
Classes do Mapa	AVN	41	6	1	6	54
	AAA	5	74	12	2	93
	OAN	0	2	21	2	25
	AGU	0	0	0	0	0
	Total	46	82	34	10	172

Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.

Observa-se que a acurácia constatada para os anos de 1985, 1995 e 2010 apresentam melhores coeficientes para os dois índices, sendo a exatidão global acima de 70% e de Kappa acima de 0,60. Já o mapa de 2005 apresenta os menores resultados, índice de exatidão global de 70 % e Kappa de 0,54, mas com valores que se enquadram em mapas de qualidade “muito bom” e “bom”, de acordo com a proposta de Landis e Koch (1977), conforme a tabela 08.

Tabela 08: Coeficientes de Acurácia Global dos Mapas

		Exatidão Global	Kappa	Qualidade do Mapa
Mapas	1985	0,77 = 77%	0,64	Muito Bom
	1995	0,76 = 75,57%	0,62	Muito Bom
	2005	0,70 = 69,66%	0,54	Bom
	2015	0,79 = 79%	0,67	Muito Bom

Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.

Diante das matrizes apresentadas, observa-se que o fator responsável pela dominação dos índices de acurácia do mapeamento de cobertura da Terra em 2005 foi a menor consistência na classe de áreas antrópicas agrícolas e da classe água. Em relação à classe AGU, essa apresenta inconstância em todas as matrizes devido sua limitação em relação à resolução espacial das imagens *Landsat*, o que possibilita a identificação de pixels de reservatório de água na sua classificação, confundindo-a com as demais classes.

## **2.7 Propostas Metodológicas para Estudo das Interações Geoecológicas e Modelagem Preditiva**

Com objetivo de “correlacionar as interações geoecológicas da bacia do Riacho São José para construir cenários prospectivos para a conservação da paisagem semiárida”, o passo inicial foi a organização dos caminhos metodológicos adotados, os quais foram embasados nos enfoques geoecológicos da paisagem: estrutural, funcional, histórico-antropogênico e integrativo, destacando a horizontalidade e a verticalidade paisagística no estudo do estado ambiental e as interações geoecológicas.

Primeiro foi evidenciado a organização estrutural horizontal da paisagem, tendo como base a compartimentação geoecológica da paisagem da BRSJ em unidades geoecológicas e diagnóstico do estado ambiental, relacionando as derivações antropogênicas, a alterabilidade e os processos degradantes da paisagem para estimar os níveis de estabilidade paisagísticas.

O segundo momento foi compreendido a estrutura vertical da paisagem pela construção de perfis geoecológicos, matriz de interações e mensurar níveis de adequabilidade geoecológica da paisagem aos usos antrópicos da Terra. No terceiro momento se trouxe a proposição de cenários voltados para a conservação da paisagem semiárida da bacia do Riacho São José.

### **Compartimentação Geoecológica e o Estado Ambiental da Paisagem**

Para delinear as diferenças estruturais da superfície da Bacia do Riacho São José, foi realizado a compartimentação em unidades geoecológicas e diagnosticado as mudanças ocorridas na paisagem, os níveis de alterações antrópicas, os processos degradantes e a identificação do estado ambiental.

A compartimentação geoecológica se fez pela tipologia da paisagem (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017) de acordo com as feições e as estruturas morfológicas da BRSJ, o que possibilitou evidenciar os diferentes modelados do terreno diante da forma alongada da acentuada diferença altimétrica. Com base na declividade, hipsometria e curvas de nível de 10 m, foi delineado três unidades geoecológicas predominantes: Terras altas de relevo plano a ondulado; terrenos de serras, vales e escarpas; Terras baixas com relevo plano a ondulado.

A partir da delimitação das unidades geoecológicas, foi diagnosticado o estado ambiental da paisagem, seguindo as proposições apresentadas em Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2017) e Oliveira (2013). Assim, o estado ambiental da paisagem reflete os níveis de alterações e degradação da superfície terrestre, isso seguindo os critérios apresentados no quadro 08.

Quadro 08: Critérios para análise do estado geoecológico da paisagem.

Estado Ambiental da Paisagem			
Estabilidade	Descrição	Nível de alterabilidade	Nível de degradação
<b>Estável</b>	Corresponde a paisagem não alterada em que se conserva a estrutura original e não apresentam problemas ambientais significativos. Os processos geoecológicos são configurados de modo natural, com pouca interferência antropogênica. Apresentando núcleos de estabilidade geoecológica.	Sem ou muito pouca modificação 0 - 20%.	Sem e muito baixa degradação
<b>Medianamente estável</b>	Diz respeito à paisagem sustentável com pouca mudança em sua estrutura original. Constitui área de uso antrópico balanceado ao quadro natural.	Pouca alteração 20 - 40%.	Baixa degradação
<b>Instável</b>	Configura-se numa paisagem insustentável caracterizada por fortes mudanças em sua estrutura espacial e funcional. Assim interferindo nas funções ecológicas na paisagem, devido à sobreexploração dos recursos. Resultando no declínio da produtividade.	Alteração 40 - 60%	Degradada
<b>Crítico</b>	Compreende paisagem insustentável, a qual ocorreu a perda parcial da estrutura e de funções ecológicas naturais, configurando fortes problemas ambientais devido a redução do potencial das Terras, fazendo a necessidade de mitigação para recuperação dos processos naturais.	Muita alteração > 60%	Alta degradação

Fonte: Mateo e Martinez (1998), Glazovski (1998) e Rodriguez, Silva e Calvacanti (2017).

Organização: A. M. S. CHAVES, 2019.

As correlações entre os critérios elencados permitiram identificar se as unidades das paisagens são estáveis, medianamente estáveis, instáveis e/ou crítico. Assim, quanto mais estável se apresenta a paisagem, menor serão os níveis de alterações e mais sustentável estará o ambiente (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017).

### **Dinâmica Geoecológica em Perfis**

Destacando a estrutura vertical da paisagem, os perfis geoecológicos integram as informações Geoambientais e a cobertura da terra verificados sobre a compartimentação geoecológica da paisagem da bacia do Riacho São José. Os componentes paisagísticos evidenciados nos perfis estão apresentados no quadro 09.

A construção de perfis geoecológicos compreende uma metodologia de tradição na geoecologia das paisagens, possibilitando leitura, visualização interpretação didática das feições paisagísticas e condições ambientais a partir de informações cartográficas (JANSEN, 2014; MANOSSO; NÓBREGA, 2008; OLIVEIRA; MARQUES NETO, 2013; MEZZOMO; GHISSE; CAMPOS, 2014; RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017).



Quadro 09: Componentes paisagísticos dos perfis geoecológicos.

Componentes integrativos do perfil geoecológico	
1	Geologia: substrato rochoso e os complexos
2	Solos: tipos de solo
3	Geomorfologia: Unidades do relevo
4	Vegetação: Cobertura Vegetal
5	Usos da Terra: áreas naturais e antrópicas
6	Clima: Temperatura e precipitação.

Elaboração: A. M. S. CHAVES, 2018.

No estudo da estrutura vertical, foi delimitado sobre as unidades geoecológicas quatro perfis, três transversais e um longitudinal, buscando abarcar as diferentes feições e a composição dos componentes estruturantes da paisagem, para, em seguida, trazer considerações sobre as relações integrativas. Esses perfis foram construídos na interface do *software Inkscape 0.92.4*.

#### Adequabilidade Geoecológica ao Uso e Cobertura da Terra

Compreendendo uma abordagem integrativa entre a estrutura, a funcionalidade e as relações histórica-antropogênica da paisagem da bacia do Riacho São José, foi desenvolvida uma proposta metodológica que tem como base a cartográfica das variáveis geoecológicas apresentadas nos capítulos III, VI e V para realização de um cálculo denominado de “Adequabilidade Geoecológica”, que resultou em níveis de adequação aos usos da paisagem.

Os procedimentos delineados compreendem uma proposta aplicada e flexível, desenvolvida para o ambiente semiárido, não demandando dados e informações de difícil acesso, pois são obtidas de órgãos nacionais ou produzidos a partir de imagem de satélite de livre acesso.

Para seu desenvolvimento, se fez necessário dois momentos complementares: trabalho de gabinete, para compreensão teórica e metodológico da temática; construção de banco de dados com informações cartográficas; e compilação e análise de dados; trabalho de campo com finalidade conhecer as áreas de estudo, registros fotográficos e coleta de coordenadas geográficas com Sistema de Posicionamento Global (GPS).

É importante esclarecer que a proposta aqui desenvolvida teve inspiração no trabalho construído por Takeuchi (1983), baseado na geoecologia, desenvolveu um procedimento para o planejamento paisagístico orientado para a conservação do meio através da classificação e mapeamento de unidades biofísicas e unidades ecológicas de uso da terra, avaliando a qualidade

potencial do solo e sua adequação. Bem como a discussão geoecológica apresentada em Huggett (1995), o qual observa que, para realizar uma análise quantitativa, se faz necessário um conjunto de variáveis considerando as relações assumidas entre elas para definição de parâmetros e valores. Assim, com base nas ferramentas de álgebra de mapas a proposta da adequabilidade geoecológica foi construída, testada e aplicada.

O uso da álgebra de mapas possibilita a combinação e manipulação dados relacionados de um mesmo local do espaço, através de técnicas de mapeamento e sobreposição digital de camadas de mapas, por meio de SIGs, fazendo uso de equações matemáticas, ou seja, operações analíticas que agrupam cartográficas temáticas em classes, pelo compartilhamento de certas características visuais ou numéricas (cor, textura, números), com finalidade de extrair ou gera novas informações e construção de modelos (EGENHOFER; BRUNS, 1995; FRANK, 2005; TOMLIN, 1994).

De acordo com Egenhofer e Bruns (1995) as camadas de mapas compreendem o conjunto de cartografias temáticas contendo a distribuição espacial de atributo específicos em uma área de estudo, onde cada local ou zona está associado a um valor numérico representativo das características registradas para as variáveis utilizadas na algébrica de mapa, as quais estão presentes em tabela de atributos, (EGENHOFER; BRUNS, 1995; TOMLIN, 1994).

Assim, confecção e a edição da base cartográfica geoecológica ocorreram no ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), *ArcGis* 10.3.1, utilizando-se ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto para processamento digital das informações: solo, declividade do terreno, espacialização da vegetação pelo NDVI e cobertura da Terra. A geologia e os condicionantes climáticos estão presentes na discussão dos resultados.

Em vista disso, com a base cartográfica pronta, realizou-se o cálculo de adequabilidade geoecológica na ferramenta “*raster calculator*” da álgebra de mapas para classificação de níveis de adequabilidade geoecológica por meio de média aritmética (equação), a partir dos pesos associados aos componentes geoecológicos.

$$AG = \frac{(S \cdot P) + (D \cdot P) + (V \cdot P) + (CT \cdot P)}{4}$$

Sendo AG a adequabilidade geoecológica; S os tipos de solos; D a declividade do terreno; V portes da vegetação; CT cobertura da Terra; *P* = pesos das variáveis.

Para isso, no *ArcMap* acessou-se o “*Mep Algebra - raster calculator*” para realizar o cálculo. No “*raster calculator*” primeiro abre-se parênteses duplo, adiciona a base cartográfica no formato raster, uma por vez, conforme a fórmula seguida do sinal de adição (+), fecha o

parêntese, adiciona o sinal de divisão (/) e o número 4, fecha o segundo parêntese, salva e executa o processamento.

É Importante esclarecer que o peso das variáveis geoecológicas é atribuído, na base cartográfica, antes de realizar o cálculo por reclassificação homogênea na ferramenta “*Reclass – Reclassify*”, ou seja, cada classe recebe o valor estabelecido (que varia entre 1, 2 e 3). Isso levando em consideração a capacidade de usos antrópicos, observados nas atividades de campo da área estudada (Tabela 09).

Tabela 09: Variáveis para cálculo da adequabilidade geoecológica.

Pesos	Variáveis			
	Solo (S)	Declividade (D)	Vegetação (V)	Uso Antrópico (U)
1	Neossolo Regolítico	0 a 8%	Herbácea e ausência de vegetação	Áreas de usos agropecuários
2	Planossolo Háplico	8 a 45%	Arbustiva	Áreas degradadas / sem uso
3	Neossolo Litólico	> 45%	Arbórea e Arbórea/arbustiva	Áreas naturais

Fonte: A. M. S. CHAVES, 2019.

Como resultado do cálculo AG, têm-se valores entre 1 a 3. Assim, quando o valor é 1 ou próximo, mais adequado são as áreas para usos antrópicos; quando é 3 ou se aproxima a esse, os valores indicam áreas inadequadas aos usos antrópicos, nesses casos devem ser mantidas as condições naturais, ou seja, mantidas para a conservação da caatinga.

Os resultados são dialogados de acordo com a chave de classificação final (Tabela 10), a qual aponta os três níveis de adequabilidade geoecológica: 1 - adequado (1 a 1,6); 2 - parcialmente adequado (1,7 a 2,3); e 3 - inadequado (2,4 a 3).

Para obter esses intervalos, a classificação do cálculo AG foi feita a partir de limiares equidistantes entre os máximos 1 e 3, sendo 2 o limite das classes, a partir do qual se traçou intervalos de 0,3 em relação aos valores das extremidades (1 e 3), estabelecendo transição segura entre as classes.

Como resultado final, os dados da chave de classificação são espacializados na forma de mapa temático, destacando as diferentes adequabilidades geoecológicas na bacia, bem como a quantificação dos níveis de AG.

Tabela 10: Chave de classificação para os níveis de adequabilidade.

Valor de referência	Nível	Chave de classificação
1 a 1,6	Adequado	Áreas de solo com potencial a usos agropecuários sobre terrenos planos a suave ondulado, com vegetação herbácea ou sem vegetação primária ou secundária e precipitação podem ser favoráveis ao regime hídrico local ou não. A maioria dos fatores geoecológicos são favoráveis ao desenvolvimento de atividades antrópicas.
1,7 a 2,3	Parcialmente adequado	Áreas de solos com potencial a usos agropecuários sobre terrenos ondulados e forte ondulados, com vegetação herbácea ou sem vegetação primária, precipitação nem sempre favorável. Alguns dos componentes geoecológicos não são favoráveis a usos antrópicos, o que dificultada as atividades socioeconômicas
> 2,4	Inadequado	Áreas de embasamento cristalino com rochas expostas, solos poucos desenvolvidos sobre terrenos de acentuada declividade, escarpado e/ou montanhoso. Áreas onde predomina vegetação natural recomenda-se preservar, pois compreendem a fitogeógrafa local como caatinga arbórea arbustiva e mata de altitude. Compreende ambiente geoecológico desfavorável ao desenvolvimento de atividades socioeconômicas.

Fonte: A. M. S. CHAVES, 2019.

### **Modelagem Preditiva: cenários conservacionistas para paisagem semiárida**

Entende-se que a construção de cenários visa modelar uma descrição plausível de condições futuras para determinada realidade (WRINGHT; SPERS, 2006). Em vista disso, na literatura existem indicações metodológicas e tipos de cenários possíveis de serem construídos, no entanto a escolha deve ser aquela que melhor representa a realidade em estudo e esteja de acordo com a intensão pesquisada.

Assim, adotou-se a abordagem de cenários prospectivos, pois tem-se uma visão global da bacia estudada, levando em consideração variações quantificáveis e subjetivas que definirão a ocorrência de futuros múltiplos e incertos, visto que as ações do presente definirão a configuração de cenários futuros (Oliveira, 2007). Logo, os cenários foram construídos a partir de uma análise intencional e variáveis pré-determinadas por mapas de cobertura da Terra e adequação terrestre.

De acordo com o exposto, vale salientar que a modelagem dos cenários propostos nessa tese são apresentadas espacialmente em mapas, por meio de três conjuntos de projeções futuras para a bacia do Riacho São José: um baseado apenas nas atuais relações desenvolvidas até o ano de 2015, de cunho projetivo, para esboçar desdobramentos futuros para os anos de 2025, 2035a e 2035b; os outros dois conjuntos de cenário apresentam foco conservacionistas (quando se muda as ações inadequadas e passa-se a agir de acordo com as condições ambientais e sua preservação), por meio de uma proposta focada nas áreas a serem mantidas em seu estado

natural e aquelas que devem ser recuperadas, a exemplo das áreas de preservação permanente dos cursos hídricos.

Para o ano de 2035 foram modeladas duas possibilidades de projeções, uma a partir do ano de 2015 (2035a) e outra com base na projeção do ano de 2025 (2035b). O quadro (10) apresenta os procedimentos e fatores elencados na modelagem e projeção dos cenários.

Quadro 10: Procedimentos e fatores para elaboração dos cenários.

CENÁRIOS	PROCESSAMENTOS	FATORES
PROJETIVO	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ <b>Análise de Cadeia de <i>Markov</i> entre a cobertura da terra entre 2005 e 2015:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>Matriz de probabilidade de transição;</li> <li>Uma matriz de áreas de transição;</li> <li>Conjunto de imagens de probabilidade condicional por classe.</li> </ol> </li> <li>✚ <b>Mapa de adequação Terrestre por classe.</b></li> <li>✚ <b>Modelagem de mudança da Terra por autômato celular no <i>CA-Markov</i>: 2025 e 2035a e 2035b.</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cobertura da terra.</li> </ul>
CONSERVACIONISTA		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cobertura da terra;</li> <li>• Áreas de preservação Permanente;</li> <li>• Declividade</li> <li>• Classe de solos;</li> <li>• Adequabilidade geocológica.</li> </ul>

Fonte: A. M. S. CHAVES, 2019.

Desse modo, os procedimentos operacionais para a construção dos cenários ocorreram em dois *softwares* distintos, mas de modo complementar, o *ArcGis* 10.3.1 e o *Idrisi Selva* 17.00. No primeiro ocorreu o processamento de todos os fatores utilizados na modelagem: mapas de uso e cobertura da Terra dos anos de 2005 e 2015; mapas das áreas de preservação permanente composto por *buffer* de 30 metros dos cursos hídricos e identificação das encostas acima de 45° de inclinação, conforme expresso no Código Florestal; mapas de solo e da adequabilidade Geocológica.

Os mapas de adequação foram construídos de modo compartilhado em ambos *softwares*. Já a modelagem de perspectiva de mudança da cobertura da terra e os cenários foram processados no *Idrisi* através das ferramentas de modelagem *Markov* e *CA-Markov*. Os mapas finais foram reclassificados, quantificados e tiveram os *layouts* finais no *ArcGis*, seguindo as normas cartográficas.

Em específico, a modelagem dos cenários prospectivos compreendeu três etapas complementares: a análise da cadeia de *Markov* para quantificar e projetar as mudanças futuras possíveis; a construção de Mapas de Adequação Terrestre (MAT) para estimular as áreas onde as classes de cobertura terrestres são mais adequadas; e Autômatos Celulares (CA), algoritmo responsável pelo direcionamento das mudanças projetadas, ou seja, a alocação de terra (classe mapeada) por proximidade de vizinhança.

### Análise de Cadeia de *Markov*

A análise de cadeia *Markov* compreende um modelo estocástico que estima as mudanças ocorridas na cobertura da terra de um período a outro por meio de uma tabela cruzada, conforme as equações a seguir. O que significa dizer que se estima a probabilidade de transição de um tipo de cobertura da terra (pixels) no tempo t0 permanecer o mesmo ou mudar para outro tipo de cobertura do solo no tempo t1 (ADHIKARI; SOUTHWORTH, 2012; EASTMAN, 2012).

$$\sum_{j=1}^m P_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, m$$
$$(Vi * P_{ij}) = (V1, V2, V3, \dots, Vn) * \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & P_{2n} \\ P_{n1} & P_{n2} & P_{n \dots n} \end{pmatrix}$$

Sendo que  $Vi * P_{ij}$  corresponde a proporção da cobertura da terra da segunda data;  $P_{ij}$  é a matriz de probabilidade de transição da cobertura da Terra;  $Vi$  a proporção da cobertura da terra da primeira data;  $i$  o tipo de cobertura da terra na primeira data (t0);  $j$  o tipo de cobertura da terra na segunda data (t1);  $m$  é o número de classes de cobertura da terra na área de estudo;  $P_{11}$  a probabilidade de uma cobertura de terra em t0 permanecer a mesma em t1;  $P_{12}$  a probabilidade de uma cobertura de terra (classe 1) em t0 se transformar em outra classe de cobertura de terra (Classe 2) em t1 e assim por diante.

Com base na matriz de probabilidade de transições da cadeia *Markov* feita a partir de dois mapas de cobertura da terra em datas distintas (t0 e t1), foi estimado a mudança e a distribuição das classes de cobertura da terra na forma de projeções futuras (t2) (TAKADA; MIYAMOTO; HASEGAWA, 2010; ADHIKARI; SOUTHWORTH, 2012; MAS, *et al.*, 2014; ABURAS *et al.*, 2017).

Assim, se fez uso dos mapas de cobertura da Terra da bacia do Riacho São José-PE, tendo por base as datas de 2005(t0) e 2015(t1) para construir a matriz de probabilidade de transição, a matriz de áreas de transição e as imagens de probabilidade condicional. Tais processamentos ocorreram no módulo *Markov* do *software Idrisi*. Segundo Eastman (2012):

- A matriz de probabilidade de transição expressa a probabilidade de um pixel de uma determinada classe (t0) mudar para qualquer outra classe (ou permanecer a mesma) no próximo período (t1);
- A matriz de áreas de transição expressa a área total (em células) que se espera mudar no próximo período;

- Um conjunto de imagens de probabilidade condicional para cada classe de cobertura da terra expressa a probabilidade de cada pixel pertencer à classe designada no próximo período (t2).

As referidas matrizes, junto às imagens condicionais utilizadas para projeção dos primeiros cenários na ferramenta *CA-Markov* do *Idrisi* foram baseados apenas nas mudanças ocorridas nos mapas de cobertura da Terra entre o t0 (2005) e t1 (2015) para projetar 2025, 2035a e 2035b. Já os cenários baseados em um planejamento paisagístico de cunho conservacionista para 2025, 2035a e 2035b fazem uso de mapas de adequação terrestre para áreas de vegetação natural e áreas antrópicas agrícolas por combinação com as imagens condicionais.

Nos mapas de planejamento paisagísticos, as projeções de 2035 foram simuladas a partir de matrizes e imagens condicionais geradas entre 2005 e 2015 (2035a) e por matrizes geradas entre 2015 e o cenário projetado de 2025 (2035b), construindo cenários com intervalos de 20 e 10 anos. Se fez isso com a finalidade de verificar a ocorrência de mudanças na cobertura da Terra com a redução dos anos ao fazer uso da projeção estimada para 2025.

### **Mapas de adequação Terrestre – MAT**

A elaboração dos Mapas de Adequação Terrestre (MAT), e posteriormente dos cenários, foi feita a partir de vários testes, buscando obter um resultado mais próximo da realidade, pois as simulações dos modelos apresentam como principal função o incentivo de uma dada classe de cobertura em relação às demais classes do mapa.

Assim, cada mapa de adequação tem a função de destacar onde as mudanças são plausíveis para uma categoria de uso da Terra no futuro (HOUET; HUBERT-MOY, 2006). Para tanto, foram construídos quatro mapas de adequação e para cada um desses foi projetado três possibilidades de cenário. Vale ressaltar que se trabalhou com nível geral de classificação de cobertura da Terra devido aos dados primários (Landsat 5 e 8) para a modelagem dos cenários. Assim, integrou-se à classe água de representação mínima a classe de áreas antrópicas agrícolas, obtendo no mapa final três especificações: Áreas de Vegetação Natural, Áreas Antrópicas Agrícolas e Outras Áreas Não identificadas (OAN). No entanto, foi construído MAT para as duas primeiras coberturas.

O primeiro passo na construção dos MAT foi a seleção dos fatores utilizados para cada possibilidade de adequação, assim teve-se:

- MAT para AVN - 01: (1) níveis geoecológicos inadequados aos usos antrópicos, (2) áreas de preservação permanente de (*Buffer* 30m dos cursos hídricos e encostas com mais de 45° de inclinação), (3) áreas de vegetação natural e (4) áreas de neossolo litólico.
- MAT para AVN - 02: (1) níveis geoecológicos inadequados aos usos antrópicos, (2) áreas de preservação permanente (*Buffer* 30m dos cursos hídricos e encostas com mais de 45° de inclinação) e (3) áreas vegetação natural.
- MAT de AAA - 01: (1) níveis geoecológicos adequados aos usos antrópicos: (2) declividade com 0° a 20° de inclinação, (3) áreas antrópicas agrícolas e (4) áreas com neossolo regolítico e planossolo háplico.
- MAT de AAA - 02: (1) níveis geoecológicos adequados aos usos antrópicos: (2) declividade com 0° a 20° de inclinação e (3) áreas antrópicas agrícolas.

Como descrito, a diferença entre os MAT é o uso ou o não das classes de solo da Bacia do Riacho São José, isso ocorre por dois motivos. Primeiro, quando se utiliza os solos, o incentivo à mudança apresenta maior estímulo, no entanto, a utilização de ambos provoca uma concorrência muito forte ao crescimento de áreas antrópicas agrícolas, limitando as áreas de vegetação natural. Segundo, quando se faz uso dos MAT sem a presença de solo, o crescimento da classe AVN fica limitado, o que não permite que as áreas de *buffer* sejam colocadas em visualização.

Para uma visualização completa, o apêndice 2 apresenta todas as projeções feitas a partir dos mapas de adequação. No resultado da tese está apenas aquele considerado mais condizente com a realidade da bacia estudada, destacando que a intenção é mostrar cenários que revelem maior conservação da vegetação natural, por esse motivo foi adotado apenas os mapas de adequação: MAT para AVN - 01 e MAT de AAA - 01.

É importante frisar que a construção dos mapas de adequação terrestre foi baseada na lógica booleana, em que os fatores elencados são classificados em dois valores, 0 e 1. Sendo 0 o valor das áreas de incentivo à adequação de uma classe e 1 aos demais elementos do mapa. Assim, cada mapa de fator classificado em números booleanos foi multiplicado na calculadora raster do *ArcGis*, gerando os quatros MAT. Uma fórmula representativa do referido processamento é:

$$A_c = F_1 * F_2 * F_3 * F_n...$$

Em que  $A_c$  é a adequação a uma classe do mapa e  $F_n$  representa os fatores multiplicados, esses variam de acordo com a intenção de estudo.



Posteriormente ocorreu a reclassificação dos valores booleanos de modo inversamente proporcional, mantendo 01 as áreas não adequadas e substituindo o 0 por 2 ou outro número superior. No final, os MAT são convertidos para o formato ASCII, extensão aceita pela importação do SIG *Idrisi Selva*.

No *Idrisi*, os mapas de adequação são convertidos para o formato “*Bytes/binaryI*” na ferramenta “*Stretch/Linear with Saturation*”, obtendo valores entre 0 e 255, em que as áreas com valores próximos a 255 apresentam maior incentivo a determinada mudança e o valor 0 áreas não incentivadas a mudança. Em seguida todos foram combinados através da ferramenta “*Collection Editor*”, em que se faz todas as combinações possíveis dos mapas de adequação com as três classes do mapeamento.

Vale mencionar que a combinação final dos MAT precisa expressar a mesma quantidade de classes do mapa de cobertura da Terra utilizado na análise da Cadeia de *Markov*. No entanto, como não é objetivo mapear a adequação da classe de outras áreas (classe 3), se fez uso da imagem condicional gerada durante o procedimento anterior para se ter o conjunto de imagens de adequação a ser processada na modelagem do *CA-Markov*.

### **Modelagem de cenários por autômato celular no *CA-Markov***

Como apresentado na literatura, a análise de matriz *Markov* é eficiente para estimar a probabilidade de transição e a quantidade de área que uma classe de cobertura pode perder para outro tipo de cobertura. No entanto, a capacidade de alocação espacial é limitada, devido a esse fator se fez uso de Autômatos Celular (CA) (SILVERTOWN *et al.*, 1992; WANG; ZHANG, 2001; HOUET; HUBERT-MOY, 2006; KAMUSOKO *et al.*, 2009; EASTMAN, 2012).

Assim, o CA compreende entidade celular com capacidade de alterar seu estado com base na aplicação de uma regra que relaciona o novo estado ao seu estado anterior e aos de seus vizinhos. Logo, decorre do processo iterativo de alocação da terra e do estágio de filtragem a cada iteração que reduz a adequação da terra nas áreas existentes, possuindo a capacidade de desenvolver um fator de ponderação espacialmente explícito que será aplicado a cada uma das adequações (EASTMAN, 2012) e de acordo com as áreas de incentivo dos MAT. Assim, com base em Silvertown *et al.* (1992), Wang e Zhang (2001), Houet e Hubert-Moy (2006):

- I. A Análise de cadeia *Markov* controla a dinâmica temporal entre os tipos de mapas utilizados através das matrizes de probabilidade de transição e de área de transição;

- II. A dinâmica espacial é controlada pelas regras locais por meio do filtro de autômato celular, considerando a configuração da vizinhança e as probabilidades de transição e áreas de transição;
- III. Em Ambiente SIG, os dados detectados remotamente podem ser usados para definir condições iniciais, parametrizar o modelo *CA-Markov*, calcular probabilidades de transição, determinar as regras de vizinhança e simular modelos espacializados.

Diante do apresentado, se fez uso modelador “*CA-Markov*” do *software* Idrisi, o qual combinou o filtro de CA, os procedimentos da cadeia *Markov* e os mapas de adequação terrestre para simulação dos cenários futuros da bacia do Riacho São José-PE. Como os cenários são direcionados a uma abordagem de planejamento conservacionista da paisagem semiárida, por esse motivo, o principal objetivo foi delimitar e estimular as áreas adequadas para vegetação natural, com foco a recomposição da APP dos cursos hídricos. Logo, construiu-se três possibilidades de simulação:

- I. Continuação das condições atuais, sem interferência dos MAT, fazendo uso apenas dos dados gerados a partir da cobertura da Terra para projeção de paisagens futuras em 2025 e 2035a, tendo por base a as projeções entre 2005 e 2015 + 10 anos e + 20 anos, depois com base no cenário de 2025, 2015 e 2025 + 10 anos, para 2035b;
- II. A segunda possibilidade leva em consideração a projeção de cenários a partir dos mapas de adequação a áreas de vegetação natural e antrópicas agrícolas, com a finalidade de determinar o uso adequado a cada classe de cobertura da Terra, tendo por base a adequabilidade geoecológica para um planejamento ambiental paisagístico. Seguiu-se a mesmas projeções 2005 e 2015 + 10 e + 20, depois com base no cenário de 2025, 2015 e 2025 + 10;
- III. A terceira possibilidade é focada apenas no MAT das áreas de vegetação natural, com foco conservacionista, a qual não faz interferência nas áreas que tenham usos antrópicos. Seguiu-se a mesmas projeções 2005 e 2015 + 10 e + 20, depois com base no cenário de 2025, 2015 e 2025 + 10.

Todos os cenários foram reclassificados, quantificados, analisados e agrupados em conjuntos a partir das possibilidades apresentadas. Sempre que necessário levantou-se diálogos com autores que já aplicaram a referida metodologia. Por fim, as versões finais dos mapas foram organizadas no *ArcGis* 10.3.1 de acordo com as normas cartográficas seguidas.

---

**CAPÍTULO III**  
**CARACTERIZAÇÃO GEOECOLÓGICA DA BACIA DO RIACHO SÃO JOSÉ-PE**

---

### 3 CARACTERIZAÇÃO GEOECOLÓGICA DA BACIA DO RIACHO SÃO JOSÉ-PE

De acordo com o IBGE (1992), o estado de Pernambuco é dividido em três grandes regiões: Mata, Agreste e Sertão. Sendo que cada região apresenta uma dinâmica morfoclimática e fitogeográfica específica, compreendendo desde floresta atlântica (no litoral à caatinga (no sertão), além da zona de transição e/ou ligação conhecida por Agreste.

O Agreste pernambucano está situado, principalmente, sobre as feições planálticas da Borborema e das depressões semiáridas, a saber do baixo São Francisco e a Sertaneja (IBGE, 2009). Compreendendo uma posição geográfica sobre variadas expressões climáticas, marcadas por nuances semiáridas típicas, moderadas e subúmidas (A'SÁBER, 2003)

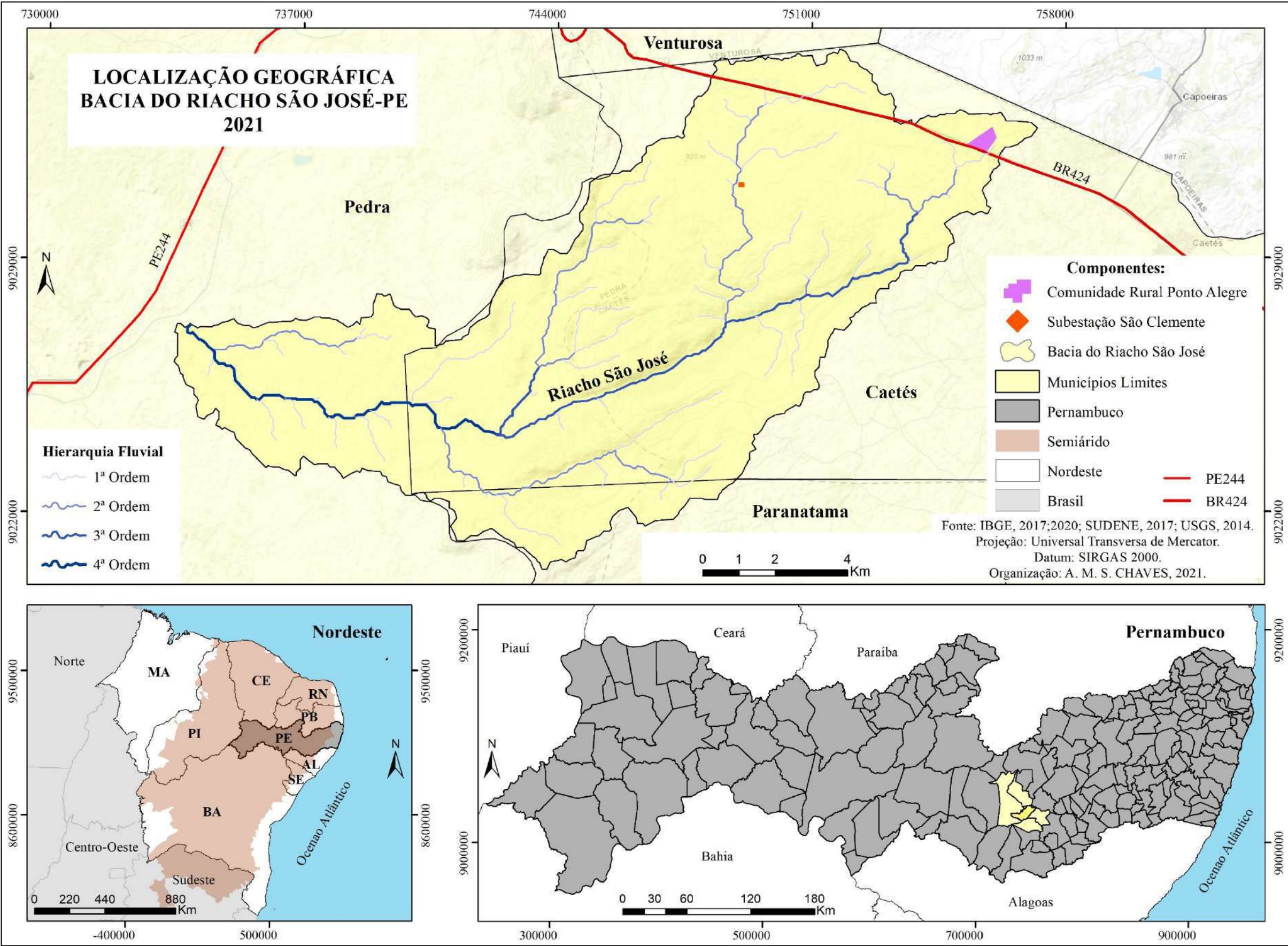
É importante ressaltar que as características morfoestruturais e climáticas dessa região (as quais sofrem a influência dos domínios e aspectos socioeconômicos e socioambientais) motivaram a subdivisão do Agreste pernambucano em três Regiões de Desenvolvimento (RD): Agreste Central, Agreste Setentrional e Agreste Meridional. Essa última RD é formada por duas microrregiões: a de Garanhuns e a do Ipanema (PERNAMBUCO, 2018).

Assim, o Agreste Meridional se localiza sobre o Planalto da Borborema e a Depressão do Baixo São Francisco - zona que expressa transição fitofisionômicas de mata ou brejo de altitude e a caatinga arbóreo-arbustiva - apresentando usos e ocupação múltipla da Terra, até mesmo fortes tensões antrópicas pela conformação de áreas urbanizadas como indústria, agricultura, pecuária, áreas de conservação e atividades turísticas.

É sobre o contexto do Agreste Meridional que está localizada a bacia do riacho São José (BRSJ), área de estudo da presente tese, delimitada a partir dos pontos altimétricos do relevo (conhecidos como divisores d'água) e é drenada pelo rio principal, Riacho São José e seus tributários. Nesse sentido, a bacia aqui é entendida como uma unidade de análise geográfica composta por componentes bióticos e abióticos, que possibilitam a realização de estudo geográfico aplicado, com fins ao planejamento ambiental conservacionista.

Desse modo, a BRSJ (Figura 05) está localizada no semiárido pernambucano, especificamente na RD Agreste Meridional, sobre o planalto da Borborema e a depressão do baixo São Francisco. Fazendo parte do contexto político-administrativos dos municípios de Caetés (na porção leste) e Pedra (na porção oeste), fazendo limite com Paratama (ao Sul) e Venturosa (ao norte).

Figura 05: Mapa de localização da bacia do Riacho São José em Pernambuco.



Elaboração: A. M. S. CHAVES, 2021.

O sistema fluvial da BRSJ compreende uma área territorial de 146,69km<sup>2</sup>, dentro 74,85km de perímetro e cursos com até quarta ordem de grandeza (segundo a classificação de Strahler (1957)). A variação altimétrica compreende cotas de 470m a 980m de altitude.

Dados específicos da forma e da estrutura são apresentados nos tópicos da caracterização geoecológica, pois é válido ressaltar que conhecer o quadro físico-natural que compõe a Bacia do Riacho São José é essencial para compreender a dinâmica ambiental da paisagem e suas interações, bem como entender determinadas apropriações territoriais feitas pela população.

Nessa intenção, o presente capítulo apresenta os componentes geoecológicos da BRSJ por meio de mapas, gráficos, tabelas, fotos e diálogos teóricos sobre a geologia, o solo, o relevo, a morfometria, o clima e a vegetação. Sendo importante destacar que parte dos dados utilizados para a caracterização geoecológica advém de fontes secundárias como IBGE, CPRM, EMBRAPA, INMET, Agritempo, entre outros documentos e fontes de referência.

Assim, como a intenção é realizar uma análise integrada, a construção entre os respectivos tópicos será a partir de um diálogo que procurará correlacioná-los sempre que necessário. A subdivisão se faz devido a uma melhor organização estrutural do texto.

Também se reflete o fato dos componentes analisados compreenderem partes indissociáveis de um todo, a paisagem geográfica da bacia do Riacho São José. Logo, a compreensão de seus aspectos, de modo individual, não permitiria entender as estruturas e os processos que lhes dão origem e dinâmica.

### **3.1 Condicionantes Climáticos da Bacia do Riacho São José-PE**

Em consideração ao substrato físico-natural da superfície terrestre da bacia do Riacho São José, inicialmente discorre sobre os atributos de caráter climático (precipitação e temperatura), os quais refletem o ambiente semiárido em zona semiárida marcada pela transição fitogeográfica. Assim, foi elaborado produtos gráficos e cartográficos referentes ao balanço hidroclimático e à temperatura da superfície da Terra (TST).

Desse modo, os dados obtidos para a BRSJ constituem uma base satisfatória para a descrição e para a análise do balanço entre pluviosidade e temperatura, pois o “[...] comportamento atmosférico nunca é igual de um ano para outro e mesmo de uma década para outra, podendo-se verificar flutuações a curto, a médio e a longo prazo” (CONTI, 2000, p. 19). Desse modo, para além dos citados recursos informacionais, torna-se relevante saber a atuação

atmosférica participante na determinação de chuvas e secas, principalmente aqueles influenciadores no Nordeste.

Nesse contexto, Ferreira e Mello (2005) apontam os sistemas atmosféricos atuantes no Nordeste Brasileiro (NEB): ZCIT, Frentes Frias, VCAN e Linhas de instabilidades responsáveis pela variação espaço-temporal pluviométrica e temperaturas elevadas ao longo do ano (que traduzem de forma ímpar o semiárido nordestino). Além da participação dos oceanos pacífico e atlântico, conforme a variação do aquecimento da temperatura da superfície da água (TSM), que fundamentam a ocorrência dos fenômenos: *El Niño* e *La Niña*.

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) está disposta entre a faixa equatorial do globo, na convergência de ventos provenientes de nordeste e ventos de sudeste. Como a incidência da radiação solar nessa região corrobora para a manutenção de temperaturas elevadas, provoca a ascensão de ventos quentes carregados de umidade que passa por condensação para formar nuvens.

Em vista disso, uma faixa nebulosa estendida em torno do equador, com potencialidade para distribuir chuvas, apresenta deslocamento sazonal no decorrer do ano por conta do movimento executado. Ocorrendo ora mais para o hemisfério Norte, ora para o hemisfério Sul equatorial, perante a relação intensa, de um ou outro, dos ventos alísios. Diante disso, a determinação do potencial de chuvas no Nordeste fica a cargo do posicionamento da ZCIT, pois quando a migração acontece de fevereiro a março para o norte, a pluviosidade é deficiente, sucedendo de abril a maio propícia ano chuvoso (STEINKE, 2012; UVO, 1989).

Corroborando para anos chuvosos no NEB, tem-se a participação de sistemas frontais (frentes), os quais correspondem ao encontro de massas de ar com diferentes características termodinâmicas. Nesse sentido, a frente fria (mais densa) faz com que a frente quente (menos densa) ascenda e isso repercute na formação de nuvens. Por conta disso, geralmente, entre novembro e janeiro, a frente fria desloca até as latitudes tropicais, contribuindo para precipitação (FERREIRA; MELLO, 2005).

Dentre os sistemas que caracterizam a atmosfera, ainda se revela a participação dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) originários do oceano atlântico. Os VCANs abordam nuvens com movimento semelhante ao circular, atuando no sentido horário e deslocando-se de leste para oeste, onde os arredores apresentam possibilidades pluvial derivadas das nuvens (FERREIRA; MELLO, 2005; STEINKE, 2012).

Além do mais, a participação do mecanismo de concentração de bandas de nuvens, do tipo cúmulos, é responsável pela geração de chuvas (STEINKE, 2012). Ferreira e Mello (2005)



destacam que a extensão de modo linear favorece período chuvoso geralmente entre fevereiro e março, conforme as chamadas Linhas de Instabilidade, que são provenientes da intensa radiação solar e atuam como promotora da formação de nuvens, quando conciliada com a ZCIT.

Perante os sistemas atmosféricos citados acima, tais possibilidades meteorológicas e climáticas são agentes para que haja disposição de saldos pluviométricos dentro do esperado na normalidade e ainda eventos extremos, ou seja, chuva concentrada ou seca intensa no Nordeste.

Além disso, por meio dos sistemas atmosféricos, pode-se revelar também o potencial de influência derivado dos fenômenos desencadeados nos oceanos Pacífico e Atlântico tropical. Acerca disso, a variação positiva (aquecimento) e negativa (resfriamento) na temperatura da superfície do mar (TSM) representam fenômenos atmosféricos-oceânicos de *La Niña* e *El Niño* (GONZALEZ *et al.*, 2013). Conforme Kayano e Andreolli (2009), déficits de chuvas no NEB estão associados ao *El Niño* (TSM negativa), colaborando a intensificação dos períodos de seca. Em detrimento a este, a incidência de *El Niña* (TSM positiva) revela chuvas ao NEB.

Somado a isso, cabe fazer correlação dessas anomalias com a ZCIT, pois como retratado acima, o enfraquecimento dos ventos alísios de nordeste apoia o posicionamento da ZCIT mais para o norte do hemisfério. De modo proporcional, acontece com os ventos alísios de sudeste. Por conta de saldos negativos à norte, esses ventos adéquam-se em relação à TSM, conduzindo a ZCIT mais para sul e anomalias negativas no Sul deslocam-nas para a porção norte equatorial (UVO, 1989; FERREIRA; MELLO, 2005).

Diante dessas condições geradas pelas variações da TSM, na tabela 11, a seguir, estão expressos, trimestralmente, a manifestação das anomalias entre os anos de 2004 e 2017, recorte temporal com dados disponíveis para o presente estudo. Os dados representam intensidades diferenciadas do *El Niño* e da *La Niña*, podendo ser visualizado períodos de forte, moderada e fraca manifestação.

Nas células de variação da intensidade dos fenômenos, nota-se que, a partir do trimestre de julho (JJA), os dois fenômenos têm expressão de quantidades consideráveis a serem mensuradas e acompanhadas em seu desenvolvimento. Tanto para a intensificação ou o enfraquecimento ou até mesmo para o desempenho das anomalias no mesmo ano.

No entanto, algumas especificidades chamam atenção no que tange a predominância do *El Niño* entre 2009 para 2010. Em que, antecedido pela *La Niña*, desenvolveu-se o resfriamento da TSM considerado de forte magnitude, porém de 2015 para 2016 apresentou mesmo nível, permanecendo por nove meses e atingindo patamar 2,6, maior valor registrado na série. Isso significa que se vivenciou ausência de chuvas neste período, ou seja, extremo de seca no NEB.



Vale retratar a presença da *La Niña* no recorte de 2007 para 2008 de intensidade forte, registrando quantidade de -1,6. No entanto, é superado posteriormente entre 2010 para 2011, alastrando durante onze meses deste último ano ao atingir máxima de -1,7. Essa presença condiz a períodos de extremos de chuvas no NEB.

Tabela 11: Variações da temperatura da superfície do mar.

Meses Anos	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2004	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7
2005	0,6	0,6	0,4	0,4	0,3	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,3	-0,6	-0,8
2006	-0,8	-0,7	-0,5	-0,3	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	0,9
2007	0,7	0,3	0,0	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5	-0,8	-1,1	-1,4	-1,5	-1,6
2008	-1,6	-1,4	-1,2	-0,9	-0,8	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4	-0,6	-0,7
2009	-0,8	-0,7	-0,5	-0,2	0,1	0,4	0,5	0,5	0,7	1,0	1,3	1,6
2010	1,5	1,3	0,9	0,4	-0,1	-0,6	-1,0	-1,4	-1,6	-1,7	-1,7	-1,6
2011	-1,4	-1,1	-0,8	-0,6	-0,5	-0,4	-0,5	-0,7	-0,9	-1,1	-1,1	-1,0
2012	-0,8	-0,6	-0,5	-0,4	-0,2	0,1	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	-0,2
2013	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3
2014	-0,4	-0,4	-0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	0,0	0,2	0,4	0,4	0,7
2015	0,6	0,6	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,4	2,6
2016	2,5	2,2	1,7	1,0	0,5	0,0	-0,3	-0,6	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6
2017	-0,3	-0,1	0,1	0,3	0,4	0,4	0,2	-0,1	-0,4	-0,7	-0,7	-1,0
Classes de intensidade												
El Niño	Forte	Moderado	Franco	La Niña				Forte	Moderada	Fracas		

Fonte: National Weather Service, 2018; INPE, 2018. Organização: A. M. S. CHAVES, 2018.

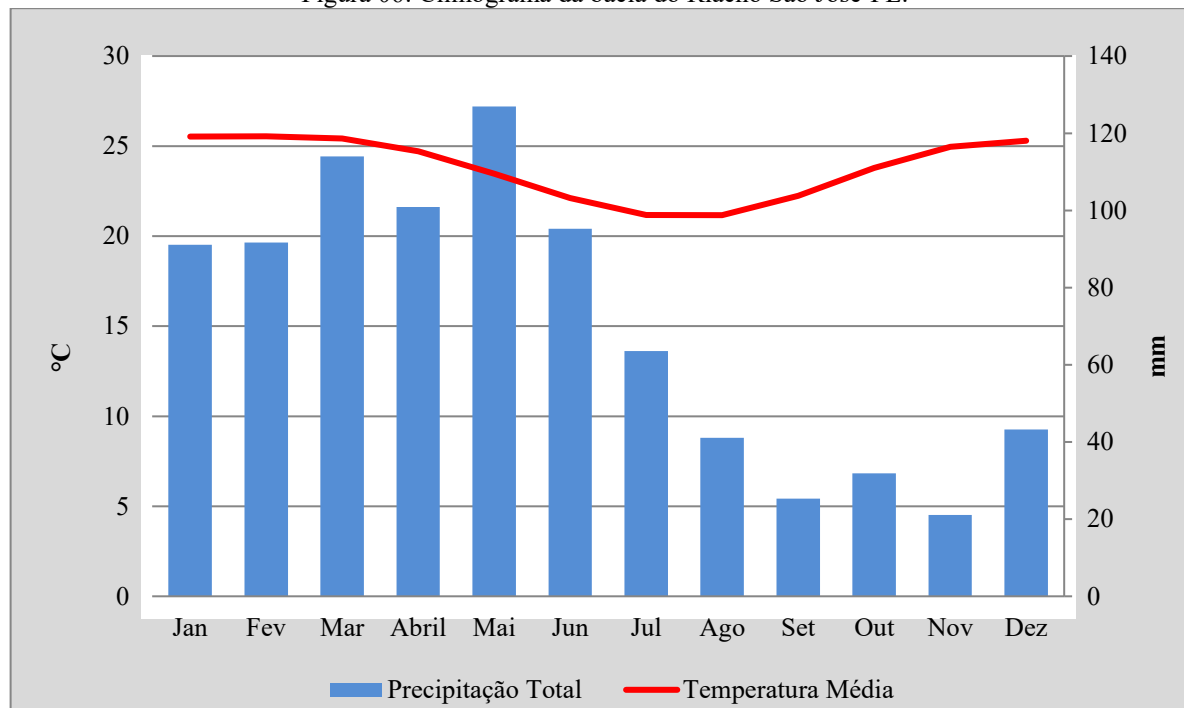
Conforme os condicionantes estudados neste tópico, os sistemas de circulação oceânico-atmosféricos possuem relação direta com a disposição de chuvas no Brasil, em especial a região nordeste. Assim, situados numa escala global de atuação, parte-se então para o entendimento da área da pesquisa aqui desenvolvida.

Por conta de elevadas temperaturas que persistem durante a maioria dos meses do ano, com alteração pluviométrica delineada em um período chuvoso e em outro seco (distribuído entre janeiro a junho e julho a dezembro), conforme constatado no climograma referente ao balanço hídrico de 2004 até 2017, a bacia do Riacho São José apresenta característica marcante do clima semiárido nordestino (Figura 06).

Para compreender as chuvas acima dos 90 mm concentradas de janeiro a junho, em uma região semiárida, se faz necessário dividir esses saldos em dois trimestres: JFM e AMJ. Vale

lembrar que a localização geográfica da bacia, entre o planalto da Borborema e a depressão do Baixo São Francisco, colabora para a diversificação da variabilidade climática.

Figura 06: Climograma da bacia do Riacho São José-PE.



Fonte: INMET; AGRITEMPO. Organização: A. M. S. CHAVES, 2018.

Nesse sentido, partindo do pressuposto que a temperatura ocorre de forma inversamente proporcional aos índices de chuvas, coloca-se em contraste a permanência de saldos elevados para a pluviosidade, como também a manutenção das maiores temperaturas registrados na série (no primeiro trimestre). Além disso, a conservação da isoterma (aproximada em 21,2 °C em julho e agosto) tem implicações no tapete geomorfológico em sua parte de altimetria no planalto da Borborema, visto que se observa declínio da precipitação.

Atendo-se ao trimestre de JFM, geralmente período de seca no semiárido, a presença de saldo elevado fundamenta-se pela participação de mecanismos meteorológico-climáticos. Além do predomínio, durante cinco anos, da atuação da *La Niña* variando entre forte, moderada e fraca em cada mês – em que geralmente a normalidade apresenta-se por chuvas dentro do esperado para o ambiente, testemunhando contraponto conferido por volume de chuvas –, essa anomalia, como destacado por Kayano e Andreolli (2009), possibilita precipitação no NEB, pois a neutralidade da TSM indica para seca ou chuva dentro da normalidade.

Já o segundo trimestre, representado nos meses AMJ, detém quantidade pluviométrica derivada dos sistemas e mecanismos geradores de chuvas no Nordeste. Tal aspecto, ratificado

em Molion (2002) e Uvo (1989) e, tem a participação direta da ZCIT porque sua posição mais para o sul, concentrada em abril e maio, acarreta sucesso pluvial no período chuvoso. Nesse sentido, como foi constatado no climograma, o ápice de precipitação está representado em maio.

A sensibilidade (no sentido que qualquer inferência de atuação é proveniente do oceano e/ou atmosfera no quadro da distribuição pluviométrica) mostra-se evidente pelas quantidades registradas e, ao mesmo tempo, a dependência da circulação atmosférica para saldos favoráveis do período chuvoso.

Trazendo para análise a escala da BRSJ, o ponto de partida é esclarecer que os dados aqui apresentados resultam de uma triangulação de informações (pluviométricas e temperaturas) de estações meteorológicas localizadas no entorno da bacia nos municípios de Garanhuns, Capoeiras e Pedra. Esse procedimento foi necessário devido à ausência de estações no território da bacia e no município de Caetés.

Assim, os dados contabilizados a partir do balanço hídrico evidenciam os condicionantes climáticos que retratam a realidade em análise a partir de um recorte temporal de 13 anos. Embora seja um tempo curto, quando se destina analisar os componentes do clima, eles compreendem os únicos dados disponíveis para as três estações dentro de um mesmo período.

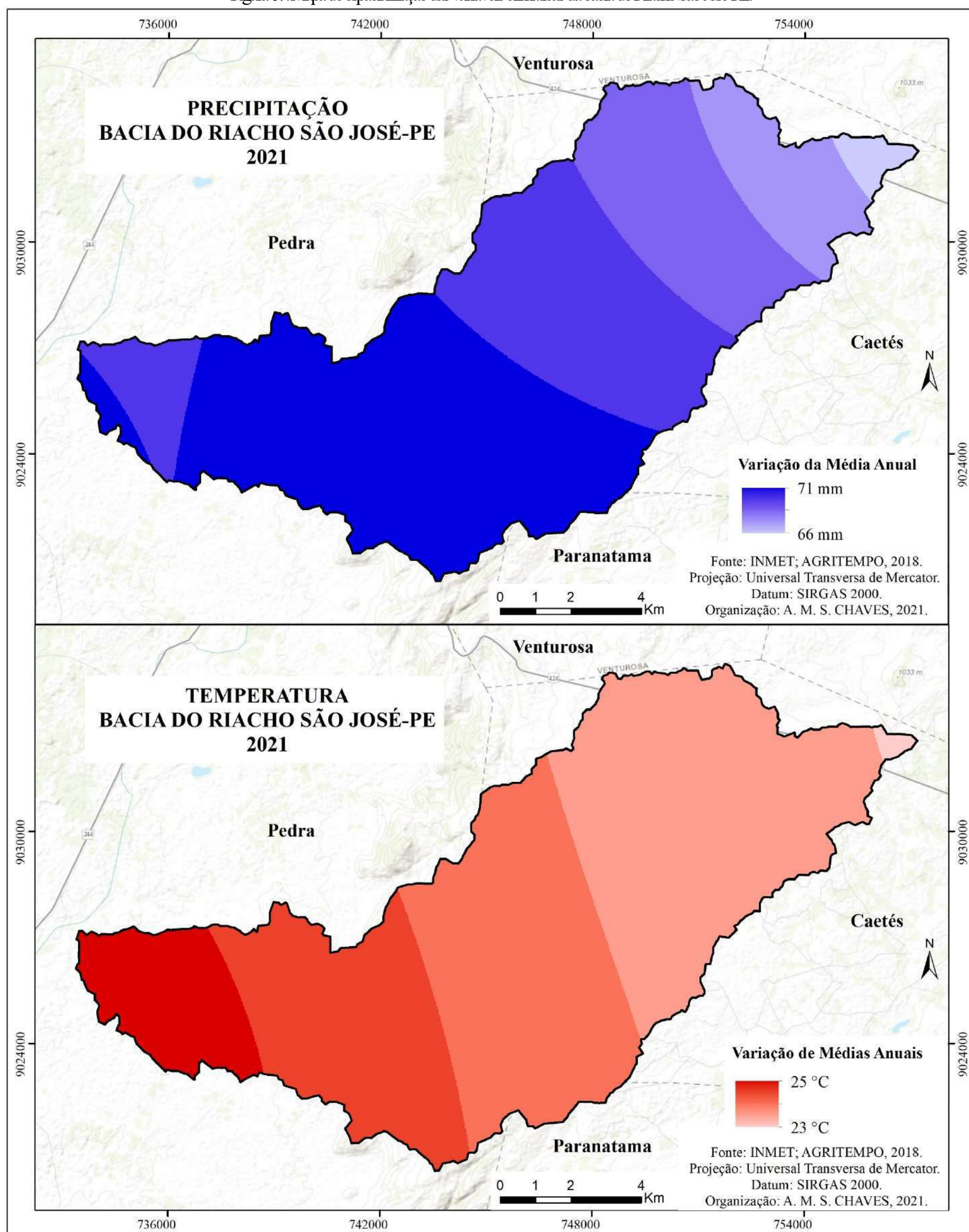
Para melhor visualização das expressões temperatura e precipitação, fez-se a interpolação dos dados para a área da bacia em mapas (Figura 07), permitindo verificar a distribuição dos fenômenos interpolados nos limites da bacia do Riacho São José.

A espacialização das variáveis climáticas do balanço hídrico permite observar que tanto a precipitação como a temperatura apresentam pouca diferenciação na BRSJ. A primeira varia entre 66mm a 71mm, uma variabilidade de 6 mm, sendo a maior concentração de chuvas na porção central da bacia, o que deve ser reflexo inflexão morfológica do planalto da Borborema.

No tocante a temperatura, essa varia entre 23 °C a 25 °C, com variabilidade de 3 °C, no sentido de leste para oeste. Situação também influenciada pelas feições morfológicas entre o planalto e a depressão do baixo São Francisco.

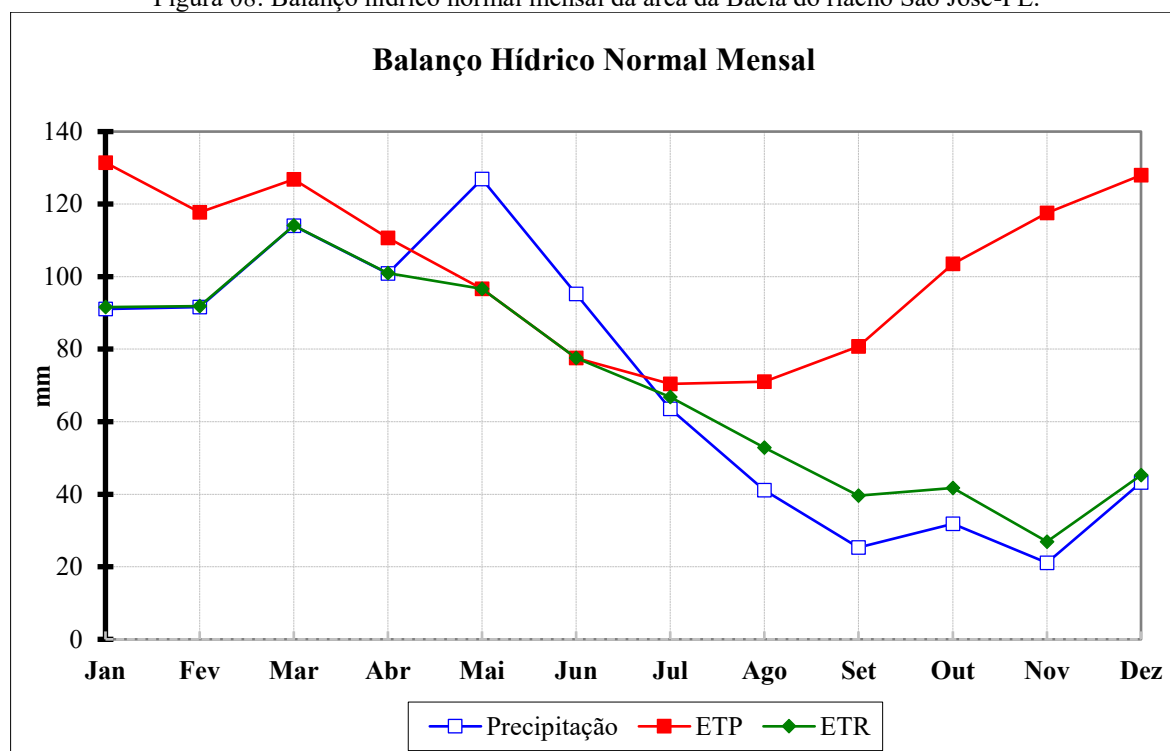
O caráter climático da BRSJ, conferido no balanço hídrico normal, permitiu aferir a relação entre a precipitação, a evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR). O gráfico a seguir (Figura 08) expressa essa relação, em que a ETR apresenta-se (na maior parte dos meses) inferior ao valor verificado para a ETP, com exceção de maio a julho, quando ocorre um equilíbrio devido a maior incidência pluviométrica, atingindo saldo de 126,9 mm.

Figura 07: Mapa de espacialização das variáveis climáticas da bacia do Riacho São José-PE.



Elaboração: A.M.S.CHAVES, 2021.

Figura 08: Balanço hídrico normal mensal da área da Bacia do riacho São José-PE.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2018.

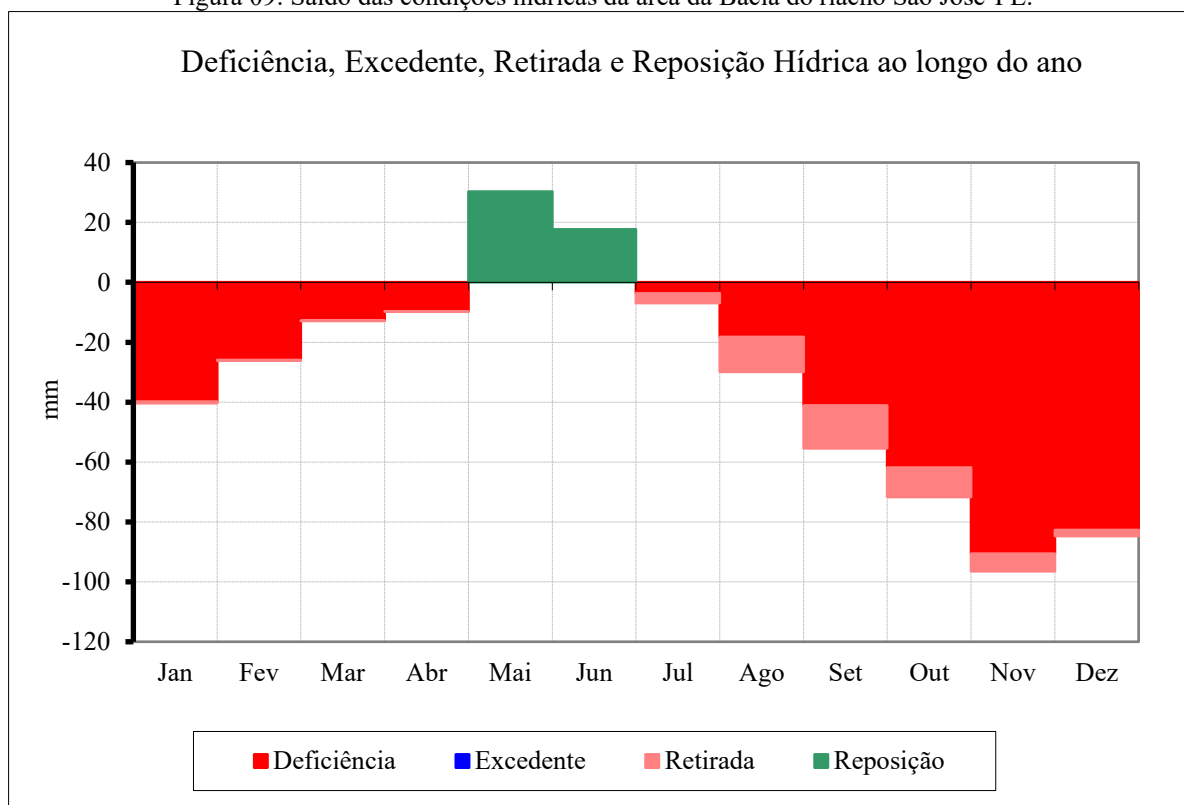
Nessa relação, a ETP apresenta-se superior à precipitação e à ETR de março a abril e julho a dezembro. Esses quantitativos corroboram para escassez hídrica da região, a qual apresenta precipitação variável entre 21 mm a 126,9 mm, durante a série. Por conta disso, predomina taxas acima dos saldos de evapotranspiração real e potencial apenas nos meses de maio e junho devido a concentração de chuvas no inverno para a região. Situação comum ao ambiente semiárido, em que os leitos dos rios apresentaram água na parte superficial durante eventos pluviométricos favoráveis, ultrapassando saldos do período seco.

Cabe ressaltar que a evaporação ocorre de modo diferenciado sobre o território da BRSJ, tendo como fatores relevantes a cobertura do solo, ou seja, áreas que apresentam vegetação tendem a reduzir a evapotranspiração no que concerne ao papel desempenhado pela cobertura vegetal ao contribuir para a infiltração e proteção do solo contra incidência direta da radiação solar. Já áreas de afloramento rochoso e solo exposto apresentam maior potencial para evapotranspiração, pois estão sujeitas a incidência direta dos raios solares e consequente desencadeamento de processos relacionados à água.

Assim, a relação entre a precipitação e a evapotranspiração revelam deficiência máxima para os meses de novembro e dezembro. Já a reposição hídrica ocorre nos meses de maio e junho, mas não chega a quantitativos suficientes para gerar excedente (Figura 09).



Figura 09: Saldo das condições hídricas da área da Bacia do riacho São José-PE.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2018.

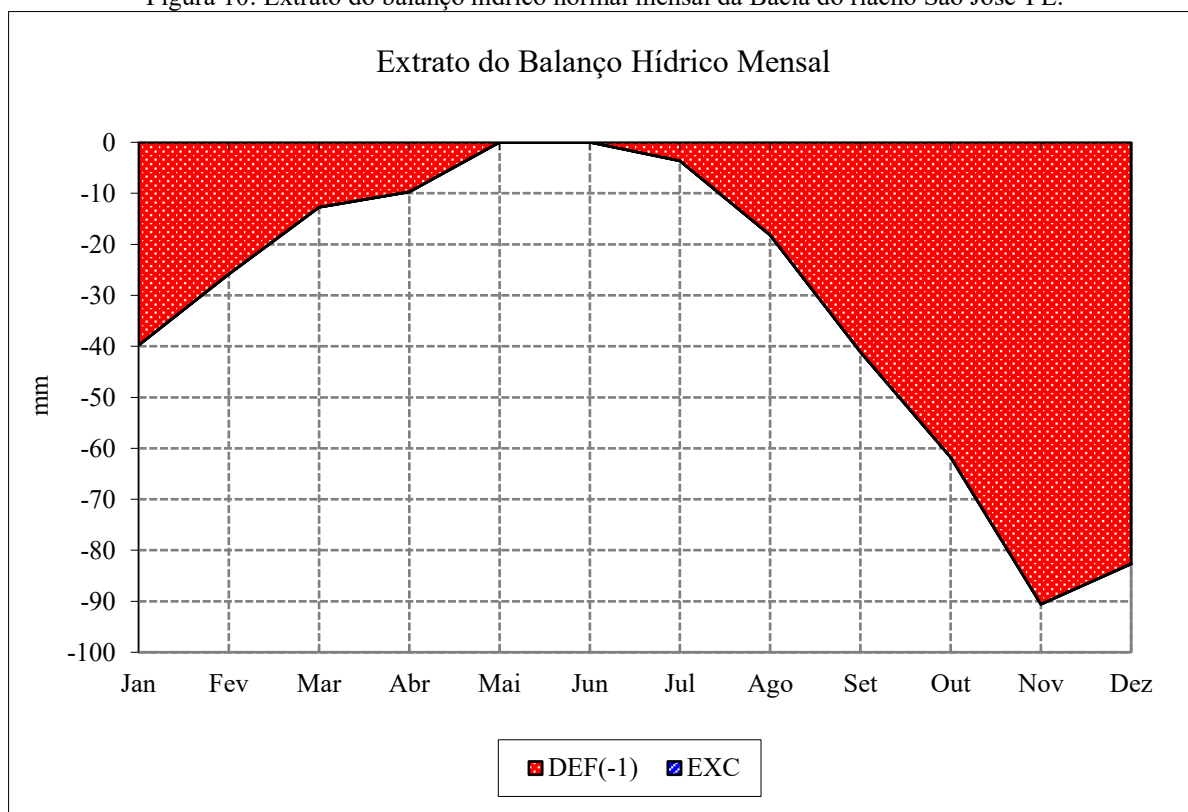
Como resultado, o saldo da deficiência, a retirada e a reposição hídrica da área estudada indica um extrato no balanço hídrico caracterizado pela deficiência hídrica (Figura 10), essas condições são comprovadas pela paisagem semiárida da bacia do Riacho São José e áreas adjacentes.

Diante de tais condições hidrológicas, o abastecimento de água na época de escassez, em maior parte do ano, se faz a partir de água de reservatórios, cisternas, poços artesianos (as vezes escavados no leito dos cursos d'água) e por abastecimento de carros-pipas.

A elaboração do balanço hídrico também calcula a capacidade de armazenamento (CAD) hídrico e o armazenamento mensal (ARM) da bacia, o que vem confirmar os contrastes naturais do ambiente semiárido, os quais revelam o ARM abaixo da capacidade de armazenamento (Figura 11).

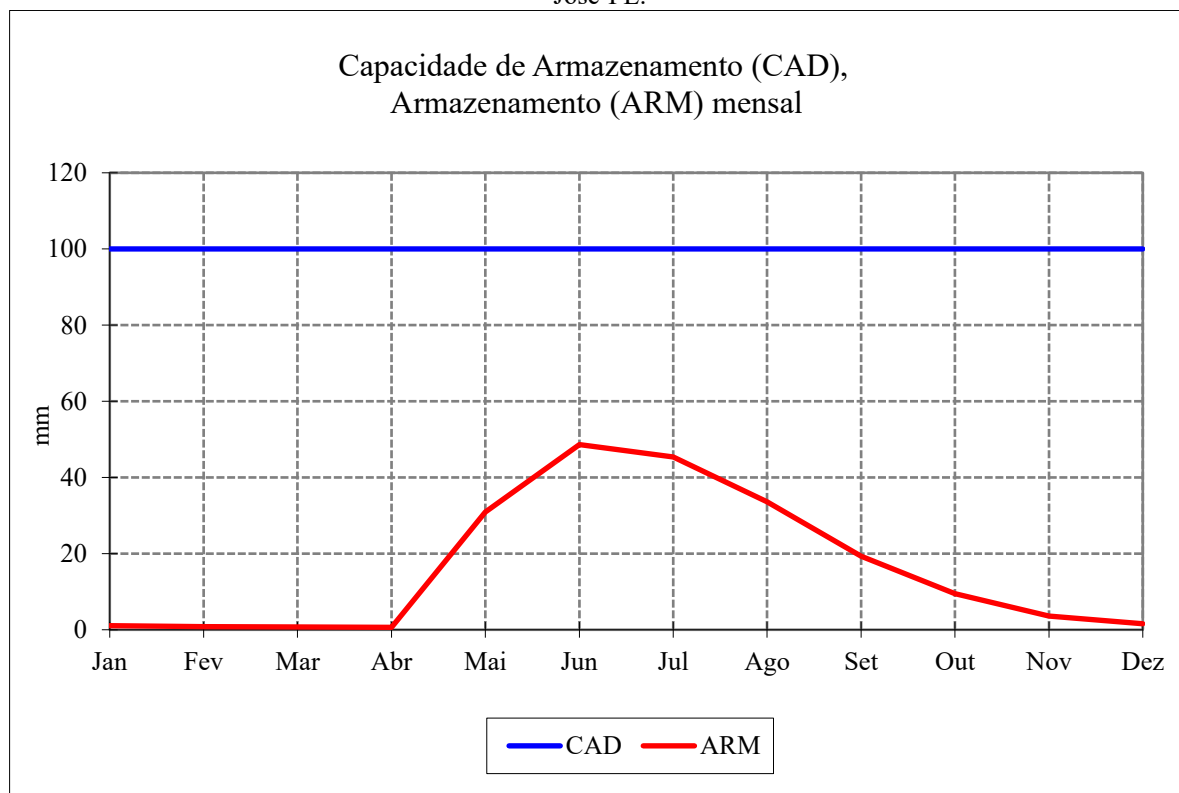
Esse dado demonstra que mesmo nos meses de maior incidência pluviométrica (MJJA), quando a capacidade de armazenamento aumenta, o valor atingido fica em 48 mm, ou seja, abaixo da capacidade de armazenamento. Já no outro extremo (o trimestre de janeiro, fevereiro e março) não se verifica armazenamento hídrico.

Figura 10: Extrato do balanço hídrico normal mensal da Bacia do riacho São José-PE.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2018.

Figura 11: Relação entre a capacidade de armazenamento e o armazenamento mensal da Bacia do Riacho São José-PE.



















Fonte: A. M. S. CHAVES, 2018.

Os aspectos hidroclimáticos apresentados pelo balanço hídrico abordam de maneira específica a relação água e solo. Assim, corroborando nessa análise, apresenta-se outro fator que caracteriza aspecto climático na bacia do Riacho São José: a temperatura da superfície terrestre (TST) estimada através das bandas termais do satélite Landsat 5 e 8. Para isso fez-se uso do recorte espaço temporal delimitado na tese para os mapeamentos do índice de vegetação e de cobertura e uso da Terra, 1985, 1995, 2005 e 2015.

Como a TST compreende a absorção da energia eletromagnética pelos diferentes tipos de cobertura da Terra (vegetação, pastagem, solo expostos, afloramento rochoso, água, entre outros componentes da superfície), as respostas termais sofrem influências direta e indiretas das condições e do estado ambiental do dia de registro da imagem de satélite, como umidade, ventos e cobertura de nuvens.

Tais questões vão refletir para a bacia do Riacho São José na variabilidade e amplitude térmica da TST ao longo das datas analisadas, apresentando desde temperaturas mínimas (entre 17 e 18 °C) a máximas (atingindo 35°C e 43°C) (Tabela 12 e Figura 12). Esses valores revelam as interações entre energia eletromagnética, as condições do ambiente e a superfície terrestre apropriada e modificada pela sociedade.

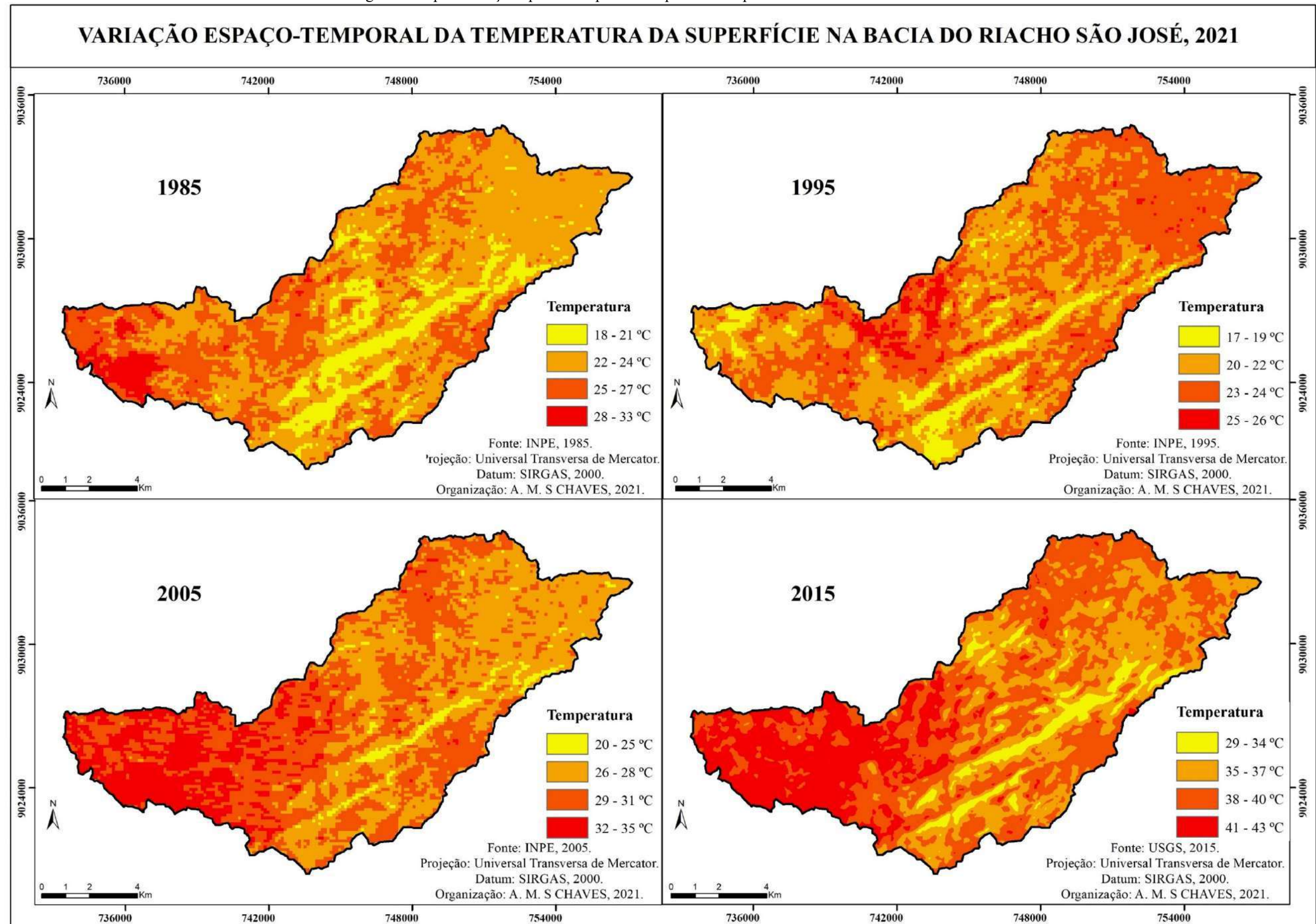
Tabela 12: Variabilidade e amplitude térmica da temperatura superficial da bacia do Riacho São José-PE.

Temperatura da superfície Terrestre da Bacia do Riacho São José-PE				
Variabilidade Térmica	1985	1995	2005	2015
	 18 - 21 °C	 17 - 19 °C	 20 - 25 °C	 29 - 34 °C
	 22 - 24 °C	 20 - 22 °C	 26 - 28 °C	 35 - 37 °C
	 25 - 27 °C	 23 - 24 °C	 29 - 31 °C	 38 - 40 °C
	 28 - 33 °C	 25 - 26 °C	 32 - 35 °C	 41 - 43 °C
Amplitude Térmica	TST máxima: 33°C TST mínima: 18°C Amplitude: 15°C	TST máxima: 26°C TST mínima: 17°C Amplitude: 09°C	TST máxima: 35°C TST mínima: 20°C Amplitude: 15°C	TST máxima: 43°C TST mínima: 29°C Amplitude: 14°C

Elaboração: A. M. S. CHAVES, 2021.



Figura 12: Mapa da variação espacial e temporal da temperatura da superfície da bacia do Riacho São José-PE.



Elaboração: A. M. S. CHAVES, 2021.

Observa-se que as temperaturas da superfície para os anos de 1985, 2005 e 2015 apresentam padrão crescente, como pode-se comprovar com o cálculo da amplitude térmica, o qual compreende 15°C para os anos de 1985 e 2005 e 14°C no ano de 2015. Ocorrendo uma mudança fora do padrão no ano de 1995. Isso se deve, como mencionado, à atuação do fenômeno climático La Niña, o que coincide com períodos de chuvas no NEB.

No contexto da espacialização da TST na BRSJ, observar-se-á que as temperaturas mais elevadas se relacionam as áreas de usos antrópicos e a ausência de vegetação. Por sua vez, as temperaturas mais baixas compreendem, principalmente, as porções com vegetação natural concentrada.

Exceções no padrão de temperatura são constatadas de acordo com dados de monitoramento feito pelo INPE, que constatou a La Niña atuando de forma positiva para os anos de 1995/1996, 1998/1999/ e 2007/2008. Para o ano de 1995 (tabela 13), em específico, está destacado os meses em que os fenômenos climáticos apresentados ficaram fora da normalidade, de acordo com os dados monitorados pelo National Weather Service do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Tabela 13: Fenômenos atmosféricos no NEB em 1995.

Ano de 1995	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
	1,0	0,7	0,5	0,3	0,1	0,0	-0,2	-0,5	-0,8	-1,0	-1,0	-1,0
El Niño			Forte			Moderado			Fraco			
La Niña			Forte			Moderada			Fraca			

Fonte: National Weather Service e INPE, 2019. Organização: A. M. S. CHAVES, 2019.

Os dados da tabela corroboram com as respostas de TST amenas para o ano de 1995, pois nos trimestres de SON, OND e NDJ, a atuação da La Niña conforma condições favoráveis a precipitações no Nordeste, possibilitando disponibilidade hídrica, aumento da umidade e florescimento da vegetação, consequentemente, diminuição da temperatura superficial do solo.

Por sua vez, o ano de 2015, embora apresente amplitude térmica próxima ao constatado nos anos de 1985 e 2005, as temperaturas estimadas apresentam uma elevação considerável, compreendendo de 29 a 43°C. Tendo como diferença de TST mínima de 11 °C, 12 °C e 09 °C em relação às demais temperaturas mínimas verificadas, bem como a máxima a 10 °C, 17 °C e 08°C acima dos valores verificados em 1985, 1995 e 2005, respectivamente.

Essa elevação de temperatura se explica por duas situações: primeiro, 2015 compreendeu o ano mais quente já registrado (até o respectivo ano), como declarado pela National Aeronautics and Space Administration (NASA, 2016), devido às fortes influências do

Fenômeno El Niño com valores extremos (Tabela 14), o que acabou condicionando em secas para o Nordeste; a segunda situação refere-se ao registro do satélite Landsat, o qual documentou momento de intensa incidência da temperatura no horário das doze horas e trinta e seis minutos

Tabela 14: Fenômenos atmosféricos no NEB em 2015.

Ano de 2015	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
	0,6	0,6	0,6	0,8	1.0	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.5	2.6
El Niño			Forte			Moderado			Fraco			

Fonte: National Wheather Service e INPE, 2019. Organização: A. M. S. CHAVES, 2019.

Com base nisso, as informações apresentadas nas tabelas sobre os fenômenos atmosféricos possibilitam refletir como eles influenciam a presença ou a ausência da precipitação no NEB, afetando a área semiárida do estado de Pernambuco onde localiza-se a bacia estudada na presente tese.

Nesse contexto, como está apresentado no “capítulo V”, a população residente nas abrangências da bacia tem como principais atividades socioeconômicas a agricultura de subsistência e a pecuária de extensiva. Por conta dessa situação e devido à ausência da precipitação e ao esgotamento dos reservatórios utilizados para o abastecimento de água, ocorreram anos de seca (como ocorrido entre 2013 e 2015) deixando a população em situação de vulnerabilidade.

Diante de tal realidade, com o aumento crescente da TST ao longo dos anos analisados, exceto em 1995, o mapeamento realizado possibilitou visualizar como ocorre a distribuição das temperaturas registradas na superfície da BRSJ, as quais revelaram maior elevação em trechos do alto e baixo cursos da BRSJ, os quais compreendem relevo aplainado. Como consequência, compreende-se espaços com maior interferência antrópicas, o que configura a substituição de vegetação primária por atividades agrícolas e solo exposto.

Por sua vez, o médio curso, área com feições geomorfológicas de estruturas dobradas e dissecadas (apresentando maior preservação da vegetação arbórea e arbustiva), concentra o registro das temperaturas brandas, o que denota o papel preponderante da vegetação na configuração do microclima local.

Tais observações fazem-se refletir sobre o quanto determinados usos da Terra acabam contribuindo para processos que vão afetar, em escala local, a qualidade ambiental da BRSJ, que se encontra cada vez mais antropizadas. Em razão disso, interfere diretamente no contexto térmico e afeta o bem-estar humano (devido as altas temperaturas), bem como atinge negativamente a biodiversidade local.

### 3.2 Geologia e Solos na Bacia do Riacho São José-PE

O substrato físico-natural de uma paisagem tem importante papel no funcionamento e nos processos que ocorrem na natureza. A base é a rocha mãe, a qual, ao passar por processos de intemperismo físico, biológico e químico, permite o desenvolvimento dos solos. É um processo lento, mas essencial para a existências de formas de vida complexas da flora e da fauna.

A bacia do riacho São José (BRSJ) é um sistema ambiental, localizado no semiárido nordestino sobre o planalto da Borborema e a depressão do baixo São Francisco, embasado sobre o substrato rochoso do cristalino, o que faz da paisagem nesta bacia refletir os contrastes climáticos específicos da região com a geologia e geomorfologia local. A esses climas se somam a vegetação caatinga do tipo arbórea e a arbustiva. Geologicamente, a área da BRSJ compreende os complexos de Belém do São Francisco, de Cabrobó e da unidade litoestratigráfica formal, a Suíte Intrusiva Leococrática Peraluminosa (Figura 13).

A respeito dos complexos, eles são formados pela associação de rochas de diversos tipos: duas ou mais classes de rochas metamórficas e ígneas subjacentes a rochas estratificadas; já a unidade litoestratigráfica é constituída pela associação de diversos tipos de uma única classe de rocha, intrusiva ou metamórfica de alto grau, discriminada por características texturais, mineralógicas ou composição química. Vale mencionar que a suíte intrusiva é constituída por duas ou mais unidades de rochas ígneas compatíveis com o nível hierárquico de formação (IBGE, 1998; ITCG, 2018).

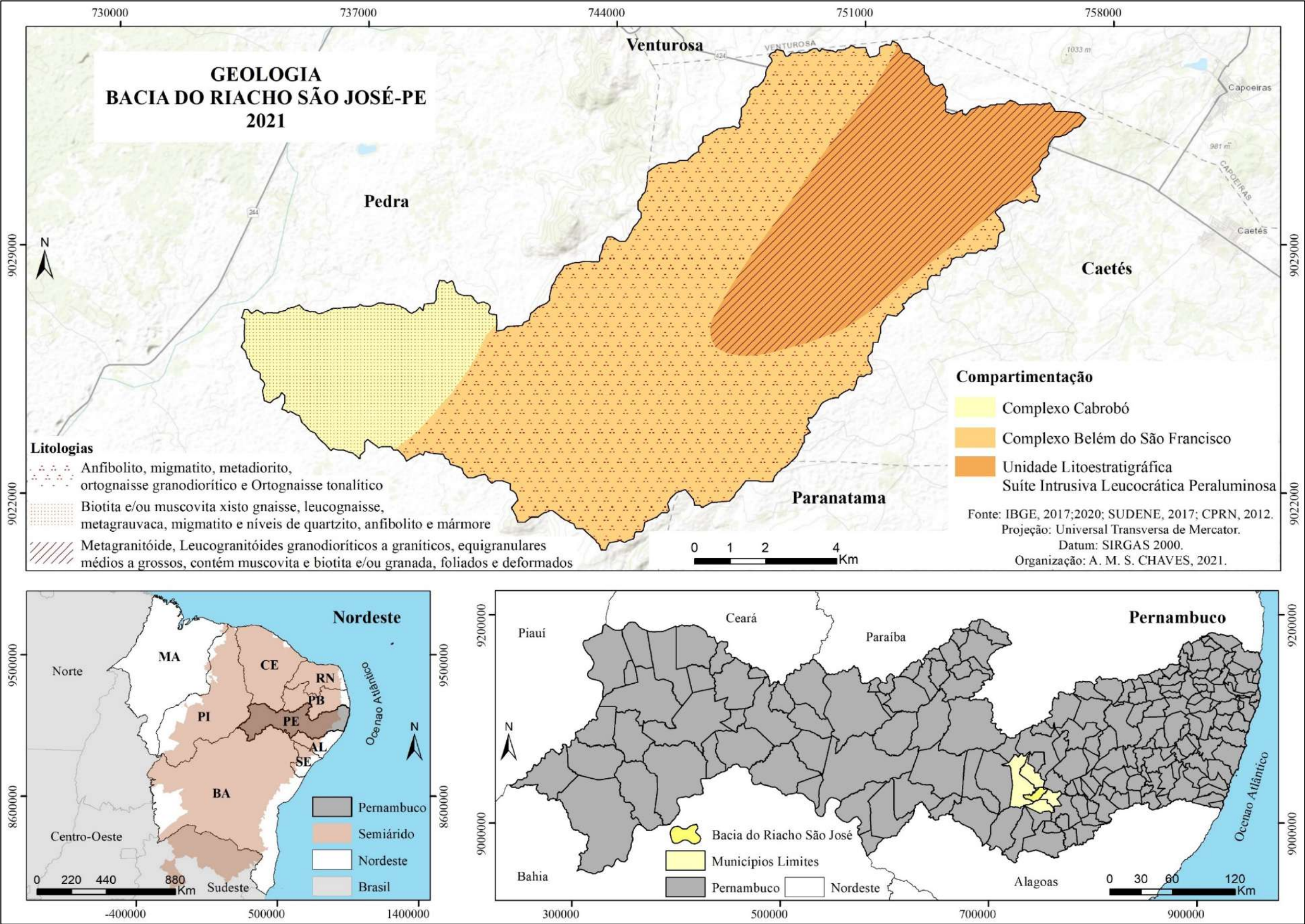
O complexo Belém do São Francisco, “[...] definido por Santos (1995) para englobar o conjunto de ortognaisses e migmatitos com restos de supracrustais [...]”, compreende a maior proporção do Terreno Pernambuco e Alagoas (SANTOS, 1999, p. 20). Na área da BRSJ, o referido complexo compreende uma área territorial de aproximadamente 85,67 Km<sup>2</sup>.

Além disso, a composição do complexo Belém do São Francisco é de rochas metamórficas dos domínios gnaiss-migmatíticos e granulitos, cuja composição litológica apresenta: anfibolito, migmatito, metadiorito, ortognaisse granodiorítico e ortognaisse tonalítico (CPRM, 2018).

Por sua vez, o complexo Cabrobó ocorre com faixas de limites difusos como o complexo Belém do São Francisco, representando remanescentes da ampla anatexia parcial, ou seja, processo de fusão entre rochas pré-existentes em condições de alta temperatura (ultrametamorfismo) (SANTOS, 1999).



Figura 13: Mapa geológico da bacia do Riacho São José-PE.



Elaboração: A. M. S. CHAVES, 2021.



Territorialmente, o complexo Cabrobó abrange aproximadamente 21,55 Km<sup>2</sup> da área da bacia estudada, compreendendo a classe de rochas metamórficas de domínios das sequências vulcanossedimentares proterozoicas dobradas, metamorfizadas de baixo a alto grau, com composição litológica: biotita e/ou muscovita xisto gnaisse, leucognaisse, metagrauvaca, migmatito e níveis de quartzito, anfibolito e mármore (CPRM, 2006; 2018).

No contexto da unidade litoestratigráfica formal, a Suíte Intrusiva Leococrática Peraluminosa compreende uma área territorial de 39,47 Km<sup>2</sup> da BRSJ, é composta por classe de rochas ígneas e metamórficas de domínio dos complexos granitoides deformados com litologia: metagranitóide, leucogranitóides granodioríticos a graníticos, equigranulares médios a grossos, contém muscovita, biotita e/ou granada, foliados e deformados (CPRM, 2006; 2018).

Por ser uma área que evidencia uma paisagem constituída, principalmente, por embasamento cristalino, torna-se comum a exposição de afloramentos rochosos compostos por rochas metamórficas, fragmentos de rochas soltas (matacões) delimitados por encostas íngremes e escarpadas sem presença de mata ciliar. A vegetação no entorno corresponde a árvores isoladas, arbustos e espécies rasteiras, o que facilita o processo de erosão do solo pouco desenvolvido e o transporte de sedimentos para o leito fluvial forma pequenos bancos de areia (processo de assoreamento) (Figura 14).

Figura 14: Leito do Riacho São José no vale do médio curso da bacia.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2018.

Ainda, a bacia do riacho São José apresenta solos com pouco desenvolvimento na maior parte de sua extensão territorial, pois o regime climático e a pedogênese que atuam sobre o substrato geológico geraram diferentes matérias e solos, ocorrendo um desencadeamento de processos erosivos e de degradação (CORRÊA; SOUZA; CAVALCANTI, 2014).

Nesse contexto, o clima atua na área da bacia em altas temperaturas e com baixa pluviosidade, isso reflete em mantos de intemperismo pouco espessos, o que resulta em “[...]”

balanço denudacional que favorece a erosão sobre os agentes pedogenéticos [...]” (CORRÊA; SOUZA; CAVALCANTI, 2014, p. 128).

O solo, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (EMBRAPA, 2018), é a “coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais e dinâmicas. Além disso, são formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do planeta” (EMBRAPA, 2018, p. 27).

Nesse sentido, o clima, as formas do relevo, os organismos, o material de origem e a idade da superfície do terreno são os principais fatores para a formação dos solos (LEPSCH, 2010; 2011). Assim, verifica-se uma mútua relação entre a formação do solo com o substrato geológico e climático no ambiente semiárido, o qual (devido ao embasamento cristalino composto principalmente por rochas metamórficas e ígneas sobre altas temperaturas, baixa precipitação e resistência) desfavorece a formação de solos bem desenvolvidos.

Referente a este aspecto geocológico, na BRSJ é constatada a presença de solos que variam em classes e ordens, conforme indica a EMBRAPA (2001; 2018), em neossolos e planossolos e que são distinguidos por segunda ordem em: neossolos regolítico e litólico e planossolos háplico (Figura 15).

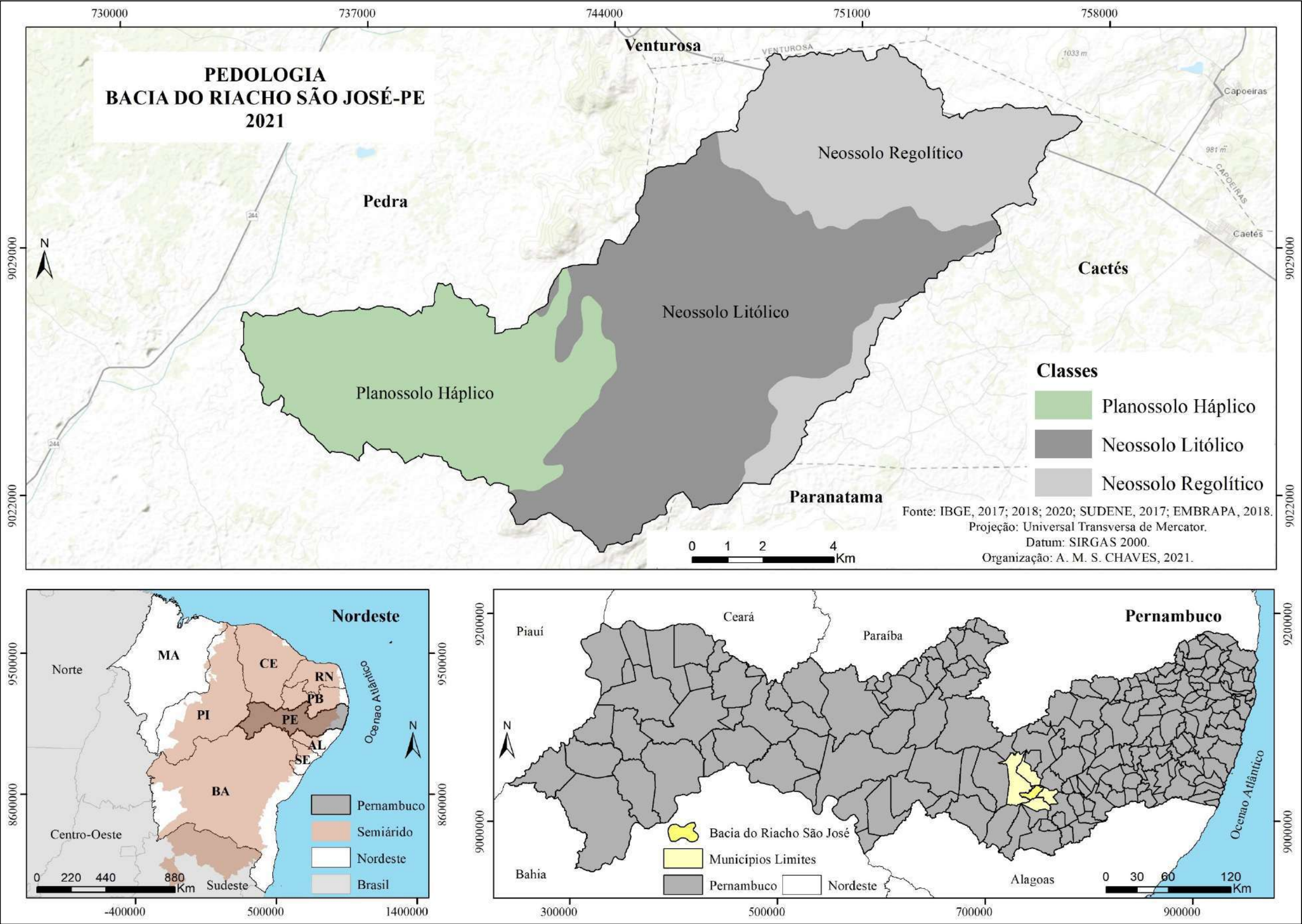
Os neossolos são típicos do semiárido e são compostos por arcabouço de rochas cristalinas. Já o planossolo háplico corresponde a perfis desenvolvidos em detrimento aos demais de áreas semiáridas e são “[...] formados pelo acúmulo de argila decorrente da estagnação, ou baixa taxa de circulação de água, em função dos largos interflúvios, sobretudo nas áreas de depressões[...]” (CORRÊA; SOUZA; CAVALCANTI, 2014, p. 128).

Em aspectos específicos, os neossolos são poucos evoluídos, “[...] constituídos por material mineral, ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico [...]”, ou seja, predomina as características herdadas da rocha mãe (EMBRAPA, 2018, p. 181).

Os neossolos litólicos predominam em áreas de relevo movimentado, ondulado e fortemente ondulado, distribuídos por todo o território brasileiro. Desenvolvem-se diretamente sobre a rocha ou em matéria composta por mais de 90% de fragmentos de rochas que apresentem diâmetro maior que 2 mm, representando contato lítico típico ou fragmentário em uma profundidade de 50 cm da superfície (EMBRAPA, 2018). Devido a variação topográfica, indícios de processos erosivos e afloramentos rochosos desta classe o tornam inaptos para irrigação e caracterizam limitações para a agricultura (EMBRAPA, 2018; LEPSCH, 2010).



Figura 15: Mapa pedológico da bacia do Riacho São José-PE.



Elaboração: A. M. S. CHAVES, 2021.



Por sua vez, os neossolos regolíticos são formados em rochas mais profundas, no entanto, apresentam limitações semelhantes aos litólicos, susceptíveis a erosão, com caráter arenoso e com pouca capacidade de armazenamento de água e nutrientes, com média fertilidade natural e baixo teor de matéria orgânica (EMBRAPA, 2001; LEPSCH, 2010).

Os planossolos são constituídos de minerais mau drenados, refletindo na baixa capacidade para irrigação. Ocorrem, preferencialmente, sobre relevo plano ou suave ondulado, “[...] onde as condições ambientais e do próprio solo favorecem vigência periódica anual de excesso de água, mesmo que de curta duração, especialmente em regiões sujeitas à estiagem prolongada, e até mesmo sob condições de clima semiárido[...]” (EMBRAPA, 2018, p. 102).

Conforme apresentado pela EMBRAPA (2018), os planossolos háplicos apresentam horizontes superficiais ou subsuperficiais eluviais, evidenciando transição acentuada entre horizontes A e B devido a mudança de textura, sendo que o horizonte B normalmente apresenta acentuada concentração de argila condicionando a baixa permeabilidade.

Com base nessa perspectiva, verifica-se que os solos que compõem a bacia do riacho São José variam de acordo com a mudança de altitude, constituindo, assim, a formação de catenas. Vale frisar que em áreas de climas tropicais a dinâmica de “[...] escoamento e percolação das águas pluviais é fortemente direcionada pelos elementos da paisagem, originando sequências de solos específicas para cada tipo de paisagem [...]” formando as catenas, ou seja, “[...] a distribuição de tipos de solos de acordo com variações na topografia” (ROCHA, 1962, p.28).

Nesse sentido, Corrêa, Souza e Cavalcanti (2014, p. 130) abordam que a paisagem do semiárido brasileiro (constituída por um arcabouço de rochas cristalina, neossolos e solos mais desenvolvidos como o luvisolos e planossolos) é “[...] formada pelo acúmulo de argila decorrente da estagnação ou baixa taxa de circulação de água em formação dos largos interflúvios, sobretudo nas áreas de depressões[...]”, possibilitando a identificação de duas categorias de catenas: catenas de pedimentos e catenas com inselbergs e pedimentos.

O primeiro tipo corresponde a áreas de “[...] relevo plano ou suavemente ondulado e geralmente a migração das substâncias no perfil do solo está sujeita a uma inundação sazonal”. O segundo tipo, as catenas com inselbergs e pedimentos, “[...] desenvolve-se comumente sobre terrenos cristalinos e granitoides, com ângulo de encosta ao menos em parte controlados pela superfície basal de intemperismo [...]” (CORRÊA; SOUZA; CAVALCANTI, 2014, p. 130).

Essas formações de catenas, a partir da variação de solos em relação ao relevo, compreendem a paisagem da bacia do riacho São José, em que a parte alta do relevo (o

pediplano central do planalto da Borborema) é composta por neossolo regolítico, provocando uma diminuição altimétrica do referido pediplano e constituindo a paisagem de serras e serrotes ocorre o neossolo litólico. Já na parte baixa da bacia, o pediplano do São Francisco (de menores cotas altimétricas para área) apresenta planossolo háplico.

### **3.3 Relevo e Análise Morfométrica da Bacia do Riacho São José-PE**

A localização da bacia do riacho São José compreende duas unidades geomorfológicas: o pediplano central do planalto da Borborema e o pediplano do baixo São Francisco (Figura 16). Além disso, compreendendo superfícies inclinadas, dissecadas e aplainadas por processos erosivos (ITCG, 2018; GUERRA, 1993). Vale destacar que essas unidades são subdivididas em quatro: pediplano arenoso, serras e serrotes, pediplano arenoso/argiloso e pediplano argiloso, refletindo a mudança de solo conforme a altitude do terreno.

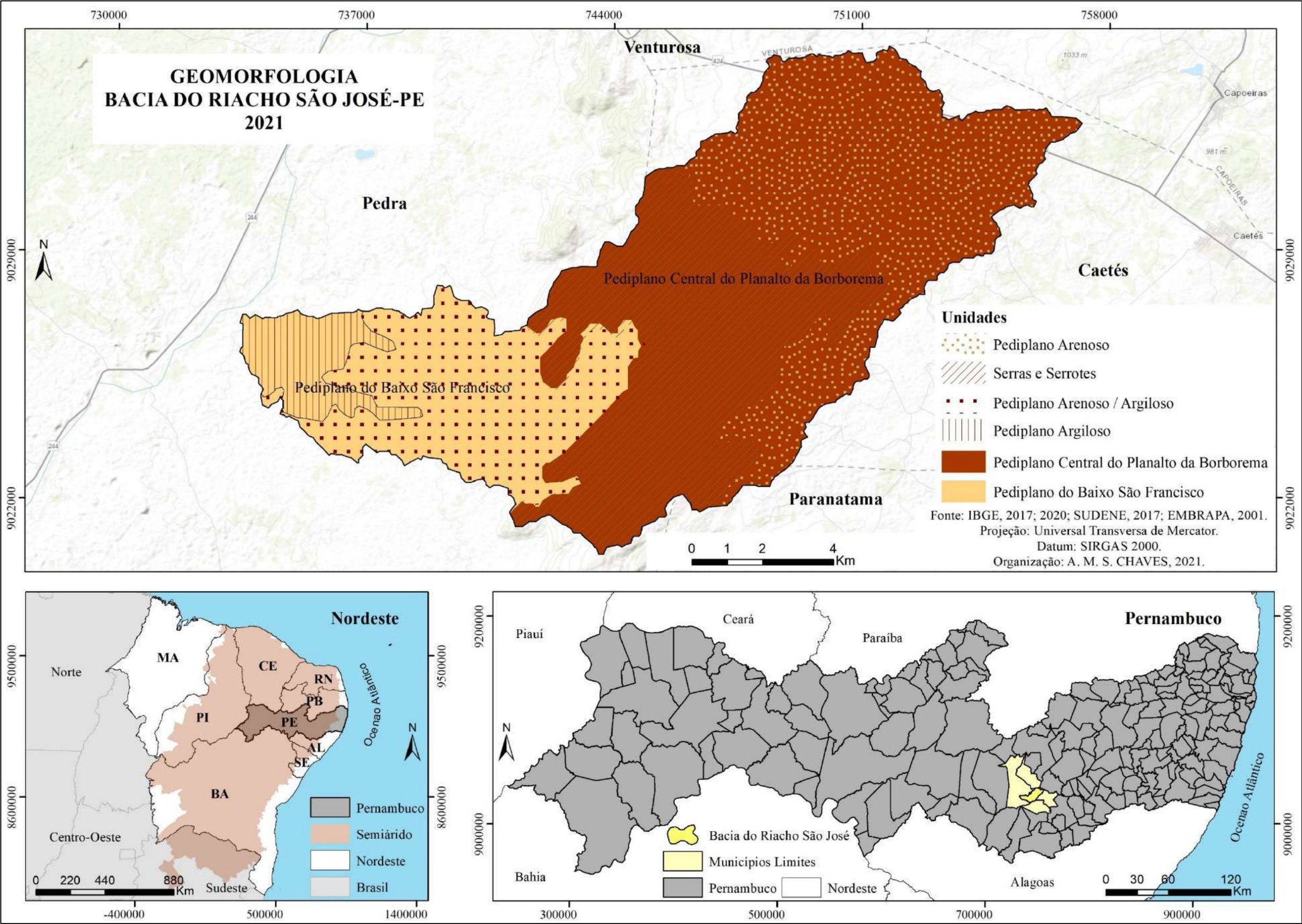
Assim sendo, o pediplano central da Borborema é marcado por suave inclinação para leste, compreendido por compartimento com altitude que varia entre 500m a 600m e apresentando trechos acima dos 800m caracterizados por blocos serranos e residuais, os quais predomina o modelado de superfícies aplainadas com ocorrência de formas de dissecação diferencial (CORRÊA *et al.*, 2010; EMBRAPA, 2001).

O pediplano do baixo São Francisco refere-se à área de elevação altimétrica abaixo do nível topográfico das regiões ao redor (limite com o planalto da Borborema), caracterizado por feições homogêneas e constituindo uma paisagem por vastos planos com algumas elevações residuais marcadas por ruptura de gradiente (CORRÊA *et al.*, 2010; GUERRA, 1992).

Sobre o planalto tem-se a unidade do pediplano arenoso caracterizada por relevo plano suave ondulado e solos arenosos, a exemplo dos neossolos regolíticos. Já as feições de serras e serrotes correspondentes às elevações íngremes (Figura 17) (coincidindo com relevo de ondulado a forte ondulado), geralmente apresentam neossolos litólicos, solos rasos ou poucos profundos e afloramento rochoso (EMBRAPA, 2001; 2018).

Já as unidades geomorfológicas localizadas na parte do pediplano do baixo São Francisco são: pediplano Arenoso/Argiloso e pediplano argiloso. O primeiro ocupa as cotas mais baixas de relevo com feições aplainadas e dissecadas, ainda é caracterizado por neossolos litólicos e planossolos; já o pediplano argiloso compõe feições suave onduladas, ocorre em ambientes de rochas gnaíssicas e xistosas de solos brunos não cálcicos e litólicos de coloração avermelhada com pedregosidade na superfície, além de apresentar alta suscetibilidade para erosão (EMBRAPA, 2001; 2018).

Figura 16: Mapa geomorfológico da bacia do Riacho São José-PE.



Elaboração: A. M. S. CHAVES, 2021.



Figura 17: Relevo com feições de serras e vales.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.

As unidades geomorfológicas apresentam, no modelado da bacia do Riacho São José, feições entre plana e suavemente ondulada na parte baixa. À leste, encontram-se as feições de morros, caracterizando um relevo entre ondulado a forte ondulado característico do planalto da Borborema, onde a paisagem evidencia afloramento fragmentado de rochas metamórficas, caatinga arbustiva aberta e planossolo exposto (Figura 18).

Figura 18: Relevo com feições planas.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2018.

Pelo fato de as feições evidenciarem as diferentes declividades da área, segundo Cavalcanti (2014, p. 58), a inclinação do relevo “[...] é importante inferência de processos relacionados com a circulação de água, sedimentos, nutrientes e outras substâncias”. Nesse

contexto, o sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA, 2018. p. 294-295), classifica o relevo a partir da variação de declividade em:

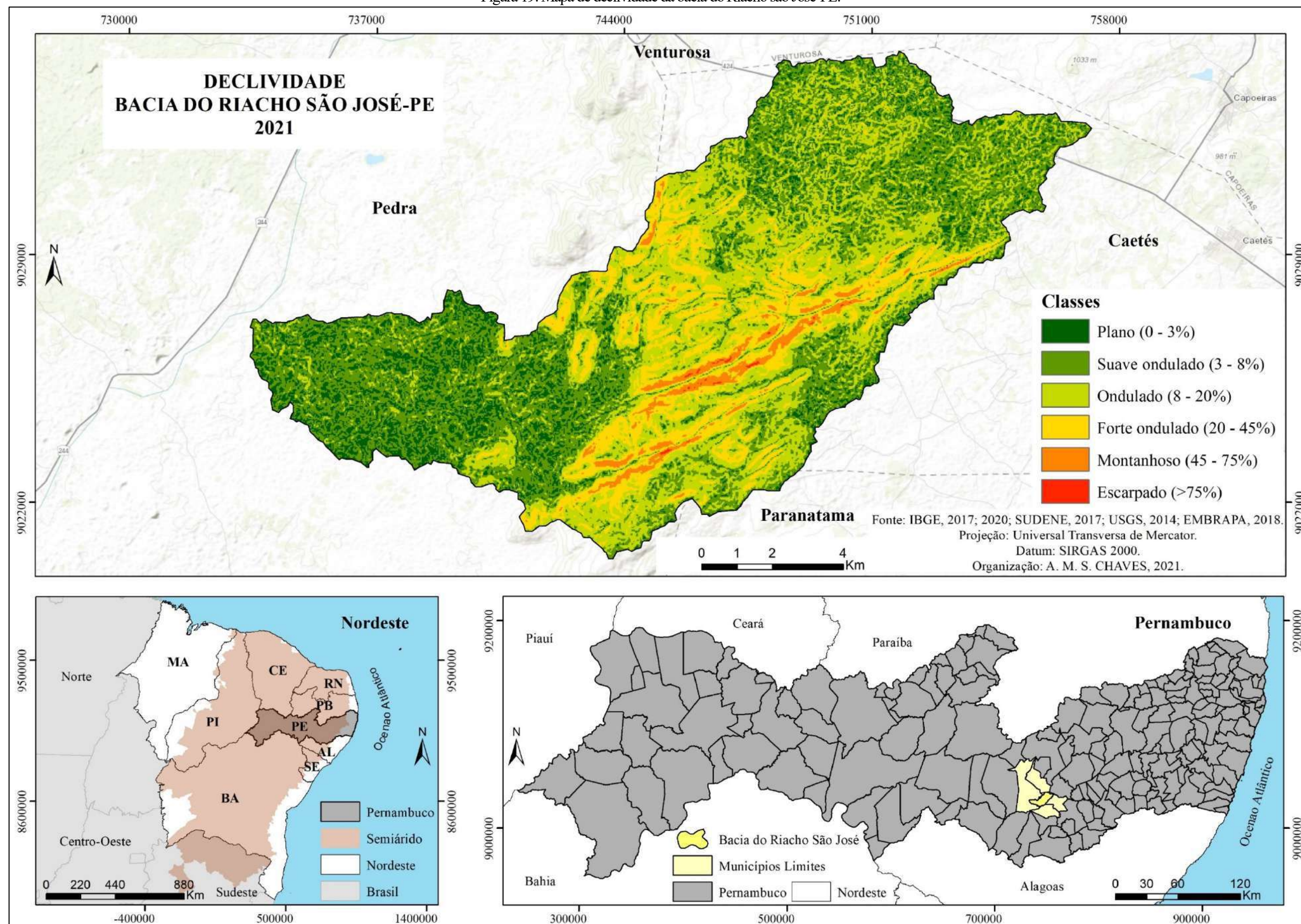
- Plano: superfície de topografia esbatida ou horizontal em que os desnivelamentos são muito pequenos com variáveis nos declives entre 0 a 3%;
- Suave ondulado: superfície de topografia pouco movimentada e constituída por conjunto de colinas e/ou elevações de altitudes relativas até 50m e de 50 a 100m, apresentando declividades suaves com variações entre 3 a 8%;
- Ondulado: superfície de topografia pouco movimentada e constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros, apresentando declives moderados com percentual entre 8 a 20%;
- Forte ondulado: superfície de topografia movimentada e formada por outeiros e/ou morros (elevações de 50 a 100m e de 100 a 200m de altitudes relativas, respectivamente) e raramente colinas, com declives fortes representados em taxas entre 20 a 45%;
- Montanhoso: superfície de topografia vigorosa com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituídas por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes na qual os declives se apresentam forte e muito forte (manifestados numa variação de 45 a 75%);
- Escarpado: áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo superfícies muito íngremes e escarpamentos como aparados, frentes de cuevas, falésias, vertentes de declives muito fortes, correspondem aquelas que ultrapassam 75%.

É importante mencionar que essas classes de relevo caracterizam a declividade da BRSJ, sendo que as classes de declividades (Figura 19) compreendem: de plana a suave ondulada (ocorrendo no pediplano arenoso no alto curso da bacia e nos pediplanos arenoso/argiloso e argiloso no baixo curso); de declividade ondulada a forte ondulada (na área de abrangência da unidade paisagística de serra e serrotes no médio curso); de montanhosa a escarpada (caracterizadas nas encostas de forte declive).

As características geoecológicas apresentadas (geologia, solo e geomorfologia), juntamente com os condicionantes climáticos a serem apresentados no próximo tópico, subsidiam análise de parâmetros morfométricos da bacia do Riacho São José. Visto que a morfometria de uma bacia permite conhecer estruturas físicas do ambiente fluvial, quantitativamente, e a sua relação integrada na estrutura da paisagem.



Figura 19: Mapa de declividade da bacia do Riacho São José-PE.



Elaboração: A. M. S. CHAVES, 2021.

Segundo Christofolletti (1980), as análises de bacias hidrográficas passaram a compreender um caráter mais objetivo a partir dos trabalhos de Horton, no ano de 1945, com a formulação de leis sobre o desenvolvimento de rios e suas bacias, como as análises quantitativas de bacias de drenagem, constituindo uma base para estudos futuros.

Nesse sentido, a morfométrica possibilita análise detalhada em bacia hidrográfica, tendo como ponto de partida o entendimento das interações desenvolvidas entre os componentes físicos e as dinâmicas intrínsecas, como o sistema de drenagem, os elementos topográficos e as intervenções antrópicas (MACHADO; TORRES, 2012).

Em vista disso, os parâmetros adotados para a caracterização morfométrica da BRSJ foram os apresentados em Christofolletti (1980) e Machado e Torres (2010), compreendendo a hierarquia fluvial e as análises areal, linear e hipsométrica.

### **Hierarquia Fluvial**

A hierarquia fluvial classifica e estabelece a ordenação dos cursos d'água que compõem a rede de drenagem da bacia (CHRISTOFOLETTI, 1980; MACHADO; TORRES, 2012). Para Stevaux e Latrubesse (2017), a morfometria fluvial tem entre seus objetivos conhecer métodos para ordenar e medir o grau hierárquico da rede de drenagem.

Segundo Christofolletti (1980), os aspectos que formam a ordenação dos canais compreendem a primeira etapa de análise morfométrica, pois tem como finalidade identificar a hierarquia fluvial e as suas correlações em relação a segmentos e ligamentos.

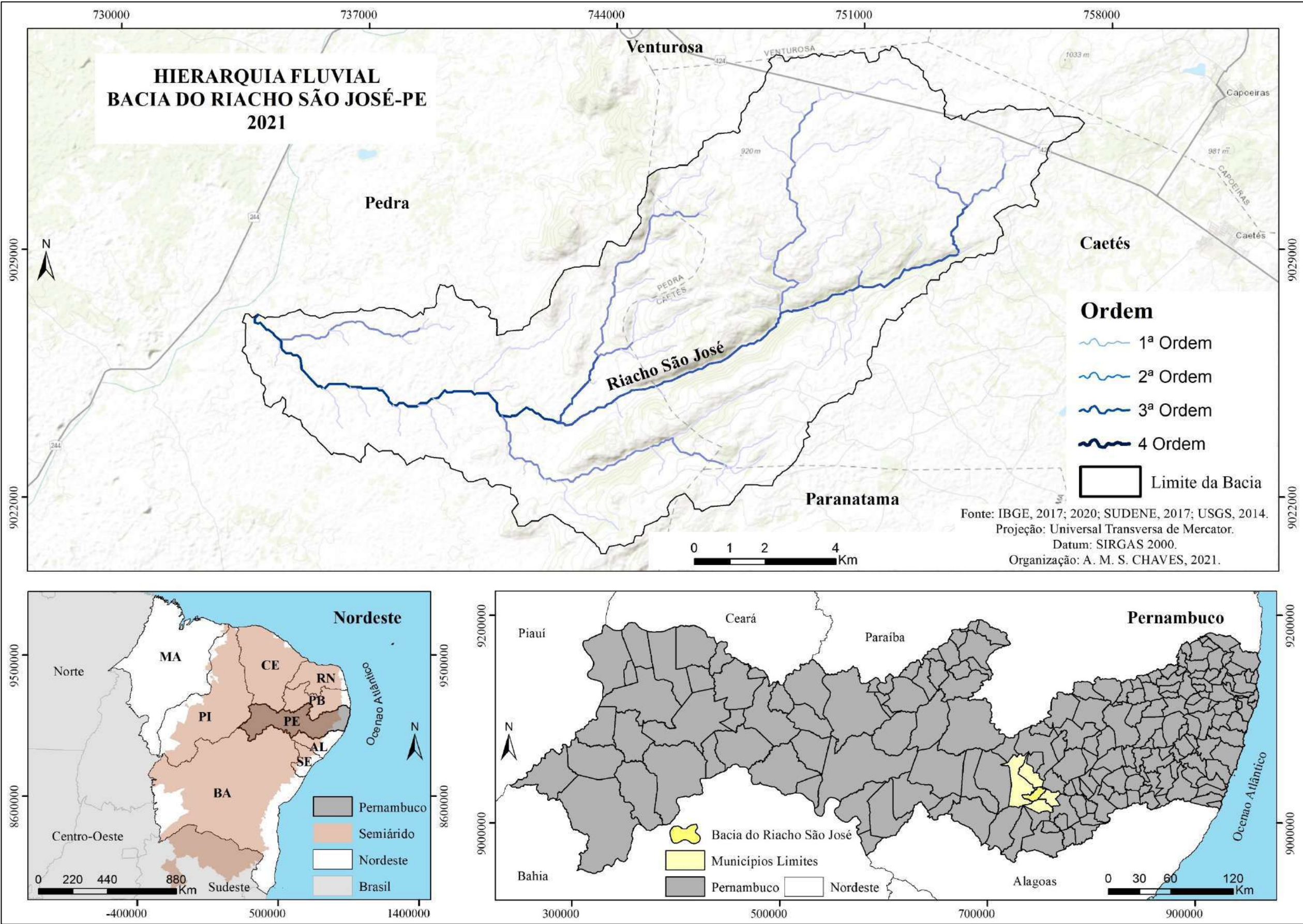
Diante dos variados métodos de ordenação dos cursos d'água de uma bacia, aqui foi adotada a hierarquização proposta por Strahler (1957), pois é consagrada na aplicação de estudos em bacias hidrográficas. O método de Strahler visa a relação topológica dos canais por meio da posição apresentada pelos canais na rede de drenagem (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Nesse sentido, os canais partem da primeira ordem, compreendendo os cursos que se originam de uma nascente; já na ocorrência do encontro de dois canais de mesma ordem, ascende um canal de ordem superior. Assim, quando dois canais de primeira ordem se encontram, emerge um canal de segunda ordem e mesmo que um canal de primeira ordem se junte com um canal de segunda ordem a hierarquia não muda, pois, a ascensão para a terceira ordem só ocorre no encontro de dois canais de segunda ordem, e assim por diante.

O ordenamento dos cursos da BRSJ compreende até a quarta ordem (Figura 20). Isso, de acordo com Machado e Torres (2012), o aumento da hierarquia em direção à foz e a diminuição da declividade, reflete em áreas com menor velocidade do volume hídrico.



Figura 20: Mapa da hierarquia fluvial da bacia do Riacho São José-PE.



Elaboração: A. M. S. CHAVES, 2021.



Além disso, a tendência mencionada por Machado e Torres (2012) é verificada na área da bacia do riacho São José, a qual apresenta relevo mais acidentado no alto e médio curso, tendo, conseqüentemente, maior velocidade no fluxo d'água dos canais; já no baixo curso, próximo à foz, o relevo plano e suave resulta numa redução da velocidade do escoamento superficial.

Como apontado por França (2018), os canais de primeira ordem são os canais responsáveis pela manutenção hídrica da bacia, visto que se originam nas nascentes e confluem com outros canais de mesma ordem ou ordem superior. Na BRSJ, os canais de primeira ordem estão distribuídos pela área territorial da bacia desde o alto ao baixo curso.

Por conseguinte, a hierarquia fluvial, em sua totalidade, além da ordenação dos cursos, compreende o número de segmentos (quantidade de cursos d'água de cada ordem) e o número de ligamentos (trechos de canais que não recebem afluentes). Além disso, existem ligamentos exteriores que são todos os cursos de primeira ordem até a primeira confluência e ligamentos interiores referentes aos demais canais (CHRISTOFOLETTI, 1980) (Tabela 15).

Tabela 15: Hierarquia fluvial da bacia do Riacho São José-PE.

Hierarquia Fluvial			
Ordem	Número de segmentos	Número de ligamento exteriores	Número total de ligamento interiores
1º	56	56	110
2º	31		
3º	11		
4º	12		

Fonte: A. M. S. CHAVES, 2018.

Por se tratar de um ambiente semiárido, as nascentes e os canais de primeira ordem desempenham papel preponderante no que concerne à manutenção hídrica dos cursos d'água em relação àqueles de ordem superior no sistema fluvial. Visto que a presença de água suficiente para a constituição do escoamento superficial ocorre entre os meses de junho a agosto (período chuvoso) em detrimento dos demais meses em virtude da evapotranspiração potencial. Desse modo, no período seco, a captação de água se faz por meio de reservatórios, poços artesianos e cisternas, alguns desses escavados no leito do rio, além de carros pipa (Figura 21).

É válido frisar que a área de baixa declividade facilita a acumulação de sedimentos, de textura arenosa, erodidos e transportados pelo escoamento superficial, quando ativo. Essa característica facilita a perfuração de poços e o acesso à água do lençol freático, como também a proliferação da espécie exótica, *Prosopis juliflora*, por possuir raízes profundas e de fácil adaptação em ambiente semiárido.

Figura 21: Poço artesiano construído no leito do Riacho São José-PE.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2018.

A constituição de poços, como o apresentado na figura acima, não é comum devido ao alto valor econômico para a sua construção. Por conta disso, encontra-se geralmente a presença de cisternas destinadas à utilização doméstica, dessedentação animal e algumas atividades agrícolas, visto que a presença do volume de água no reservatório depende da captação da água das chuvas ou pela compra de caminhão-pipa.

### Análise linear

A análise linear engloba aspectos relacionados à rede de drenagem a partir da relação de bifurcação, comprimento do rio principal, extensão do percurso superficial e o índice de sinuosidade (Tabela 16).

Tabela 16: Análise linear da bacia do Riacho São José-PE.

Análise Linear			
Ordem	Relação de bifurcação	Comprimento do rio principal	Índice de sinuosidade
1° / 2°	1,75	29,02 Km	1,36
2° / 3°	2,58		
3° / 4°	0,85		

Fonte: A. M. S. CHAVES, 2018.

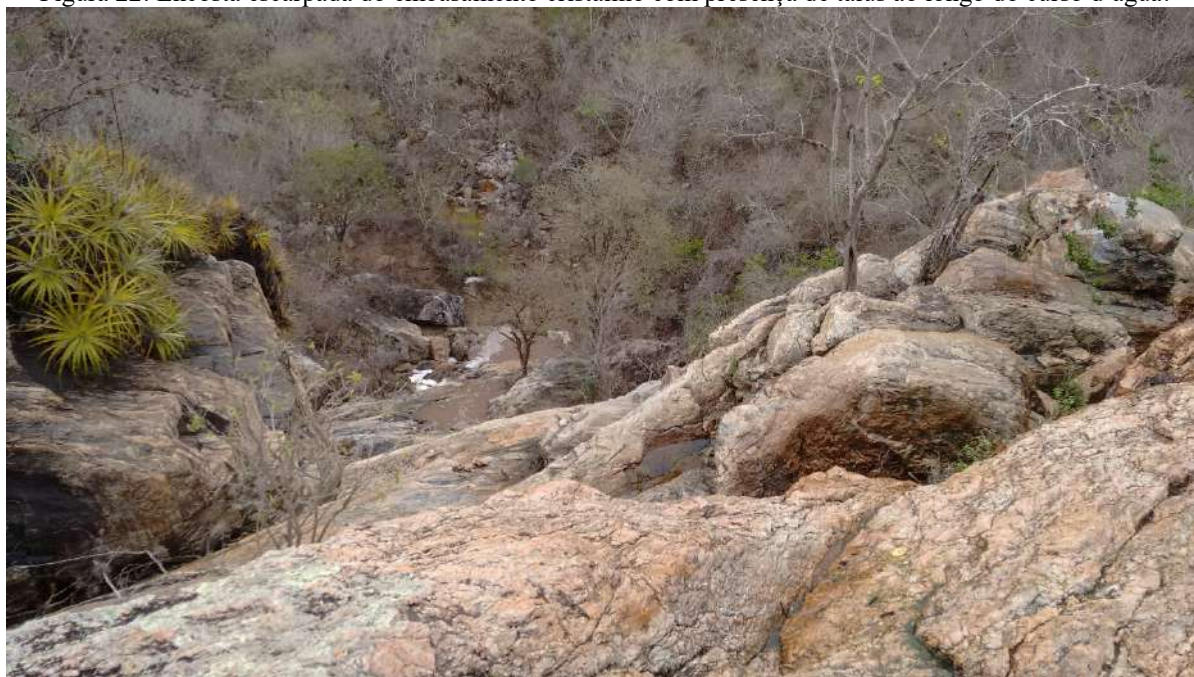
Assim, a relação de bifurcação refere-se à ligação entre a soma total de segmentos de uma dada ordem e o número total de ordem consecutivamente superior (CHRISTOFOLETTI, 1980). Para a bacia do Riacho São José, a relação de bifurcação constatada compreende valores de 1,75 na correlação entre os canais de primeira ordem com a ordem imediatamente superior,

de 2,58 entre os canais de segunda ordem e terceira ordem (evidenciando o maior valor verificado) e de 0,85 na conexão entre os canais de terceira ordem com os de quarta ordem (compreendendo a menor expressão).

Ademais, o curso hídrico que compõe o Riacho São José compreende uma extensão de aproximadamente 29 Km, desde a nascente (localizada na parte alta do planalto da Borborema sobre a unidade de pediplano central, relevo plano e suave ondulado) perpassando por unidades de serras e serrotes (com declividade forte ondulada e feições íngremes e escarpadas) até a foz (onde deságua no rio Carneiro, sobre relevo com declives entre plano e suave ondulado).

Por sua vez, o índice de sinuosidade de 1,36 evidencia que o curso do Riacho São José não possui caráter meândrico, algo que tem motivação perante a composição geológica e geomorfológica da bacia assentada sobre embasamento cristalino e o afloramento rochoso atribuindo resistência, o que conforma um curso irregular e relativamente retilíneo no fundo do vale cercado por encostas íngremes e escarpadas (Figura 22).

Figura 22: Encosta escarpada do embasamento cristalino com presença de talús ao longo do curso d'água.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2017.

Essas encostas íngremes e escarpadas estão presentes na área da bacia do Riacho São José e ratificam na paisagem afloramentos de rochas metamórficas e ígneas, possibilitando a formação de quedas d'água e cachoeiras, sendo exceção em período de regime pluviométrico favorável no ambiente semiárido. Essas cachoeiras, por sua vez, tornam-se pontos de encontro

e lazer para a comunidade local e visitante da região, que são atraídos pela beleza cênica e pelo aproveitamento recreativo das águas.

### **Análise Areal**

Com área territorial de 146,69 Km<sup>2</sup>, a bacia do riacho São José é circundada por um perímetro de 74,85 Km e comprimento de 23,98 Km. Cabe esclarecer que o comprimento da bacia se refere à distância medida em linha reta entre a foz e determinado ponto do perímetro (CHRISTOFOLETTI, 1980). Aqui se adotou o ponto do perímetro mais longe da foz em direção à nascente.

Outros parâmetros de análise areal compreendem a forma da bacia e o sistema fluvial por meio da densidade de drenagem e coeficiente de manutenção (Tabela 17), os quais refletem sobre os condicionantes da estrutura geológica, pedológica e climática de uma área.

Tabela 17: Análise areal da bacia do Riacho São José-PE.

<b>Análise Areal</b>		
Índice de Circularidade	Densidade de drenagem	Coeficiente de manutenção
0,33	0,90	1,11 Km

Fonte: A. M. S. CHAVES, 2018.

Além disso, o índice de circularidade varia entre 1 e 0 e tem como objetivo definir a forma de uma bacia, que pode ser arredondada (quando o valor é próximo a 1) ou alongada (quando o índice se aproxima de 0) (MACHADO; TORRES, 2012). No caso da BRSJ com índice de 0,33 (caracterizando-a como alongada), isso revela que na ocorrência de escoamento superficial, perante volume e tempo derivado de excepcionalidade pluviométrica, constitui-se desfavorável para episódio de inundação.

Esse fato ratifica-se com a apuração da densidade de drenagem mediana de 0,90, a qual evidencia o comportamento hídrico da bacia por meio do escoamento superficial, repercutindo diretamente com os condicionantes climáticos, geológicos e pedológicos que conduzirão a maior ou a menor intensidade de processos erosivos. Manifestando, com isso, características para indicação de erodibilidade (BELTRAME, 1994; CHRISTOFOLETTI, 1980; MACHADO; TORRES, 2012; STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

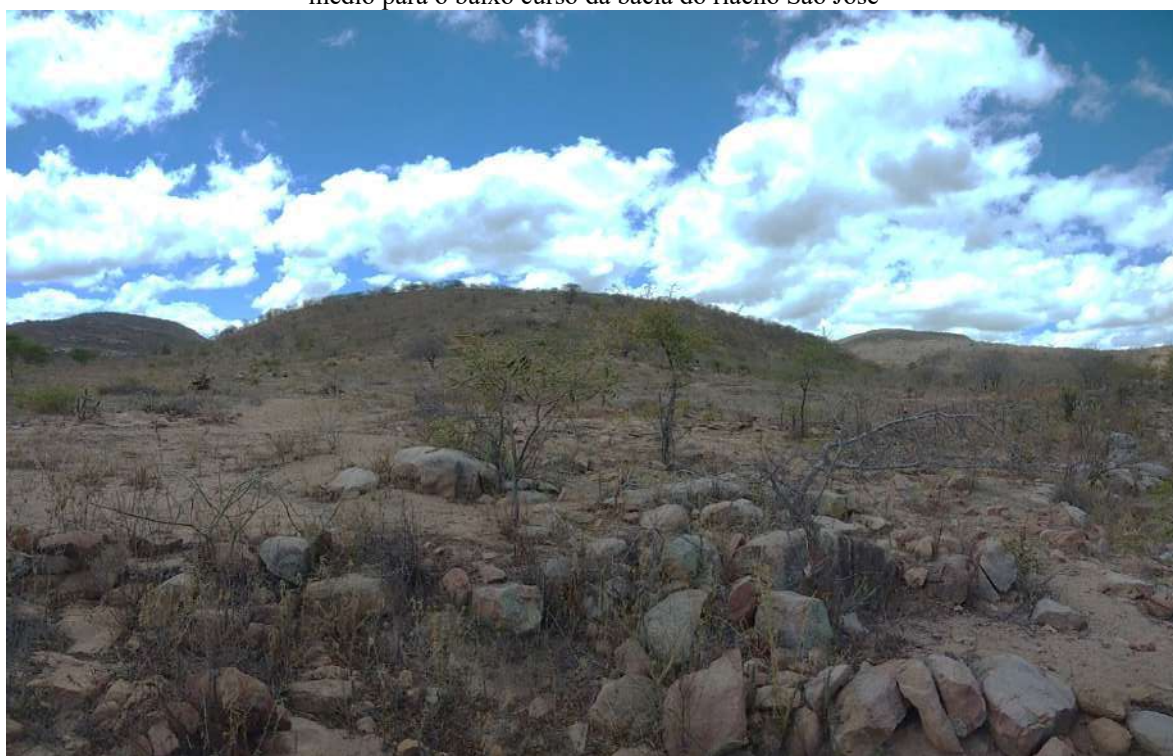
Em vista disso, Stevaux e Latrubesse (2017) destacam as relações da densidade de drenagem (Dd) com as condições do ambiente existente, fato que caracteriza o padrão da rede de drenagem. Assim, é verificado que os maiores valores da Dd abarcam regiões semiáridas, onde o clima é fator limitante no processo de formação da densidade de drenagem, assim como



a participação da estrutura geológica e dos solos. Por fim, os autores destacam a densidade de drenagem enquanto parâmetro quantitativo e o padrão da rede de drenagem compreende uma “[...] classificação qualitativa do arranjo da rede que pode refletir mais fortemente o componente geológico estrutural e histórico geomorfológica da bacia” (STEVAUX E LATRUBESSE, 2017, p. 69).

Nesse sentido, os fatores elencados acima são condizentes com a composição do quadro físico-natural sobre o qual a referida bacia está assentada. Caracterizando, com isso, componente geológico estrutural de rochas ígneas e metamórficas, solos poucos desenvolvidos e rasos na parte alta e mais desenvolvidos na parte baixa, além de encostas com declividade acentuada (Figura 23). Desse modo, esses aspectos refletem no coeficiente de manutenção da bacia de 1,11 Km, a área mínima necessária para manutenção de um metro de canal de escoamento.

Figura 23: Área de pedimento decorrente de processos erosivos com presença de talús no front das encostas do médio para o baixo curso da bacia do riacho São José



Fonte: CHAVES, 2018.

### **Análise Hipsométrica**

Os dados referentes às características hipsométricas, de acordo com Christofolletti (1980), tem a função de analisar a inter-relação de uma faixa horizontal em sua distribuição altimétrica sobre a topografia do terreno, a partir de uma isoípsa.

As linhas isoípsas correspondem aos pontos do terreno da bacia sobre a mesma altitude e medidas pelas curvas de nível. Assim, foi possível obter os valores de altitude, a amplitude altimétrica, o índice de rugosidade (Tabela 18) e o perfil longitudinal do rio principal.

Tabela 18: Análise hipsométrica da bacia do Riacho São José-PE.

Análise Hipsométrica			
Altitude		Amplitude Altimétrica	Índice de rugosidade
Mínima	470 m	510 m	459
Máxima	980 m		
Média	760,85 m		

Fonte: A. M. S. CHAVES, 2018.

A variação altimétrica da bacia do riacho São José compreende cotas que variam de 470m (nos pontos mais baixos) pediplano do baixo São Francisco a 980m no pediplano central do planalto da Borborema (Figura 24), resultando numa altitude média de 760 m.

Os valores altimétricos conformam amplitude de 510m para o terreno da BRSJ, o qual apresenta-se na forma de relevos que variam do plano a suave ondulado com feições íngremes e escarpadas, constituindo encostas abruptas de embasamento rochoso em exposição. Já a relação entre a amplitude altimétrica e a declividade com a densidade de drenagem configuram aspectos para o índice de rugosidade do terreno, o qual apresenta valor de 459.

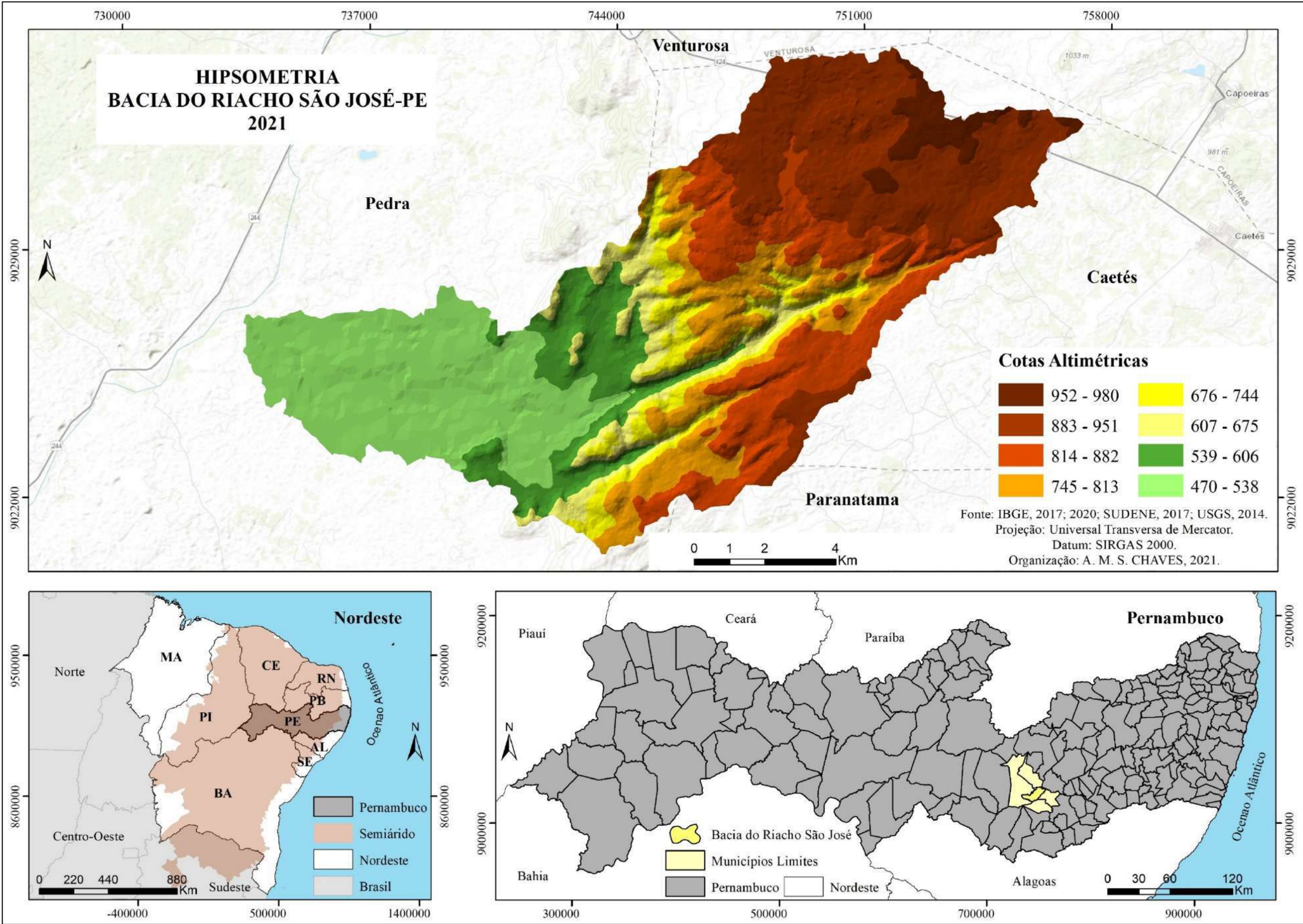
Nesse sentido, os valores constatados permitem induzir o caráter erosivo da bacia. Embora a densidade de drenagem seja mediana, a amplitude altimétrica e a declividade do relevo em associação como condicionantes climáticos do semiárido, o embasamento cristalino e o neossolo litólico favorecem processos erosivos e a deposição na parte baixa, a qual caracteriza-se em classes de planossolos mais desenvolvidos.

A declividade também é o fator preponderante na configuração do perfil longitudinal, o qual corresponde a uma representação gráfica das variações do canal do Riacho São José, conforme a diferenças do terreno (Figura 25).

O perfil longitudinal do Riacho São José, além de evidenciar a variação de declividade dos canais, permite visualizar as variações altimétricas da BRSJ, compreendidas entre 980 m a 470 m de altitude no sentido Leste para Oeste sobre o planalto da Borborema (município de Caetés-PE) até depressão do baixo São Francisco (município de Pedra-PE).

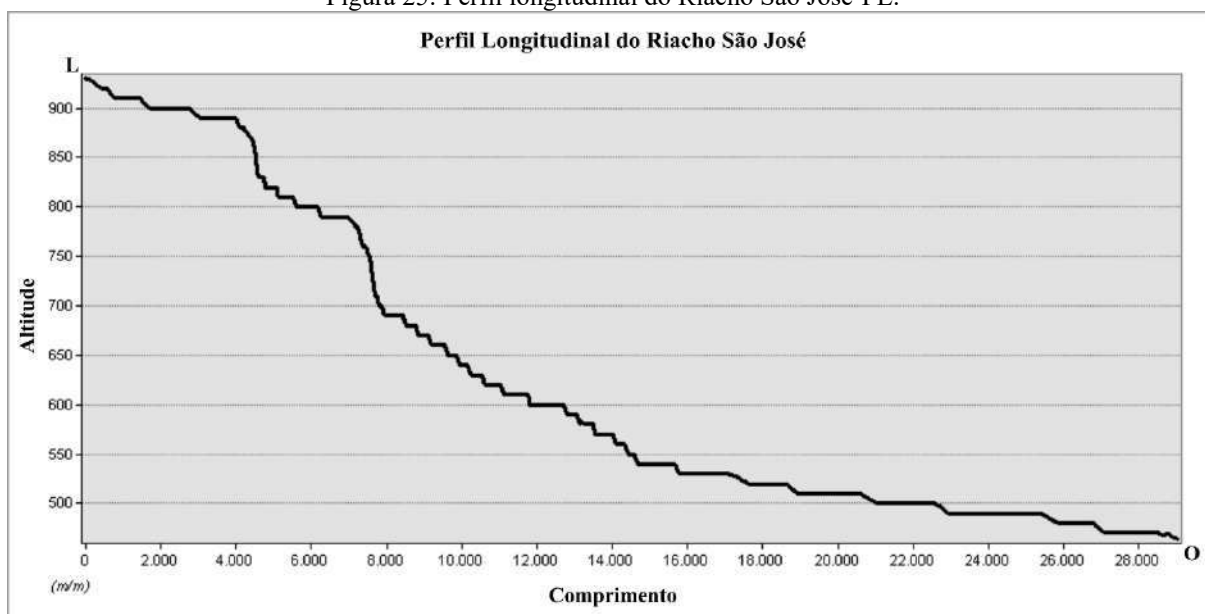


Figura 24: Mapa da variação altimétrica da bacia do Riacho São José-PE.



Elaboração: A. M. S. CHAVES, 2021.

Figura 25: Perfil longitudinal do Riacho São José-PE.



Observa-se, ainda, a existência de mudanças abruptas no nível do perfil, isso se deve às íngremes encostas pelas quais o curso hídrico percorre da nascente até a foz. São essas áreas de declividade escarpada que formam as quedas d'águas e as cachoeiras na paisagem da bacia do Riacho São José.

### 3.4 Cobertura Vegetal na Bacia do Riacho São José-PE

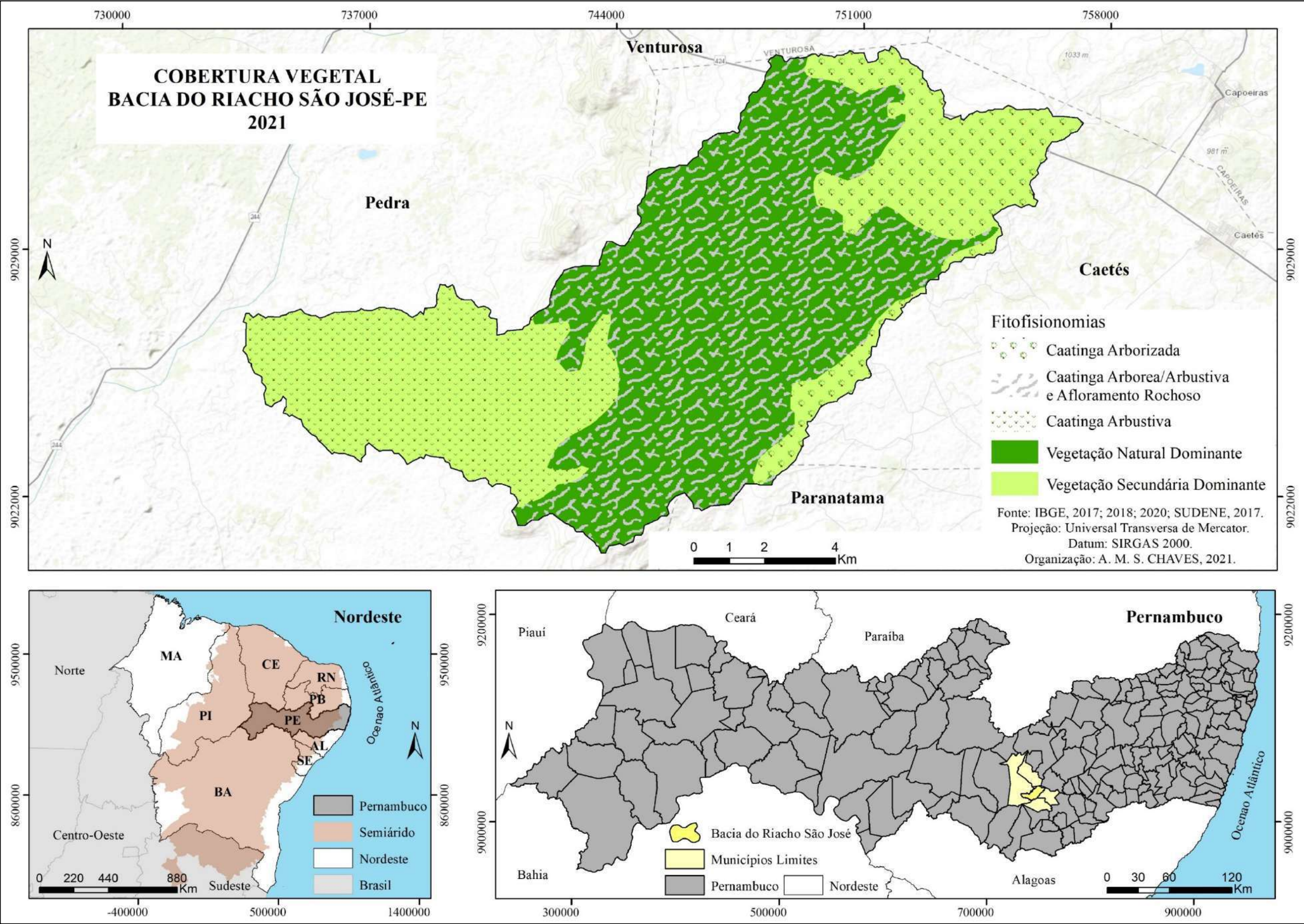
A cobertura vegetal é o elemento mais visível e sensível da paisagem, a qual, ao longo do tempo, tem sido explorada para diversos fins, devido ao valor econômico da madeira ou supressão vegetal na superfície terrestre, para ceder lugar ao desenvolvimento de outras atividades como agricultura e pecuária.

Como a paisagem da bacia do Riacho São José compõe ambiente semiárido de transição agreste no estado de Pernambucano, ela reflete aspectos do enunciado acima no que se refere ao uso e ao manejo da vegetação em potencial, visto que se trata da zona fitogeográfica de mata de atitude e caatingas com fitofisionomias arbóreas, arbórea-arbustivas e arbustivas (figura 26).

Sobre essas fitofisionomias se destacam os modos de uso e a ocupação da terra, em que as áreas naturais localizadas nas áreas de relevo plano e suave ondulado predominam áreas antrópicas com desenvolvimento de atividades como: agricultura e pastagem para pecuária extensiva. Já nos relevos que compreendem declividades entre forte ondulado a escarpado há predomínio de áreas naturais, constituídas por vegetação do tipo arbórea arbustiva, com espécies típicas da caatinga, como também espécies exóticas.



Figura 26: Mapa da cobertura vegetal da bacia do Riacho São José-PE.



Elaboração: A. M. S. CHAVES, 2020.

Como a BRSJ possui substrato natural caracterizado por embasamento cristalino com formações de vales profundos, encostas íngremes e escarpadas, algumas áreas impõem limites para usos antrópicos do território, o que faz prevalecer as paisagens preservadas com vegetação primária e secundária bem desenvolvida.

Vale destacar que Vieira *et al.* (2017) identificaram a BRSJ como área potencial para o estudo da fitogeografia da caatinga devido às fitofisionomias apresentadas: matas secas, florestas semidecíduais ciliares, capoeiras finas e densas, vegetação rupestre, carrascos e vegetação aquáticos.

No tocante às espécies arbóreas, essas são mais comuns na parte alta da bacia onde predomina atividades antrópicas, vestígios de indivíduos isolados e/ou grupos arbóreos pouco diversificados que podem ser vistos na paisagem. Dentre essas espécies identificadas destacam-se: *Myracrodruon urundeuva*/Anacardiaceae (Aroeira), *Schinopsis brasiliensis*/Anacardiaceae (Braúna), *Spondias tuberosa*/Anacardiaceae (imbuzeiro), *Aspidosperma pyrifolium*/Apocynaceae (pereiro), *Handroanthus impetiginosus*/Bignoniaceae (pau d'arco-roxo), *Handroanthus roseoalbus*/Bignoniaceae (pau d'arco-branco), *Ceiba glaziovii*/Bombacaceae (barriguda), *Libidibia férrea*/Fabaceae (pau-ferro), *Hymenaea eriogyne*/Fabaceae (jatobá), *Anadenanthera colubrina*/Fabaceae (angico), *Commiphora leptophloeos*/Burseraceae (imburana), entre outras (VIEIRA *et al.*, 2017).

No médio curso da BRSJ predominam áreas naturais devido às feições morfológicas de serras e serrotes que constituem o relevo e assim dificultam o acesso e os usos antrópicos. Essa área expressa composição florística abundante e diversificada, constituídas por espécies arbóreas, arbustivas e herbáceas e exposição de rochas ígneas e metamórficas (Figura 27).

Por sua vez, a parte baixa da bacia, localizada no pediplano do baixo São Francisco com relevo plano e suave ondulado, a composição da vegetação constitui-se por espécies arbustivas com ocorrências de exemplares arbóreos característicos do pedimento arenoso/argiloso e com pavimento detrítico em área de planossolo a baixo curso da bacia do riacho São José. A paisagem revela, em segundo plano, a formação do vale delimitado por morros de encostas íngremes, escarpadas e topos arredondados e tabulares, sobre esse último está instalado os parques eólicos da região (Figura 28).

No tocante ao leito do riacho de São José, no baixo curso, o vale tem a forma de “U”, delimitado por encostas suaves, íngremes e escarpadas (típico do ambiente semiárido de embasamento cristalino), compreendendo vegetação da caatinga rupestre sobre o afloramento de rochas metamórficas, caatinga arbustiva aberta sobre as encostas e corredor de espécie *Prosopis juliflora* ao fundo. Tudo isso forma um corredor de mata ciliar (espécie exótica)



atrelada à excelente capacidade de adaptação ao ambiente semiárido e à atuação de dispersão na ingestão realizado por animais (Figura 29).

Figura 27: Composição florística de caatinga lenhosa formando diferentes estratos.



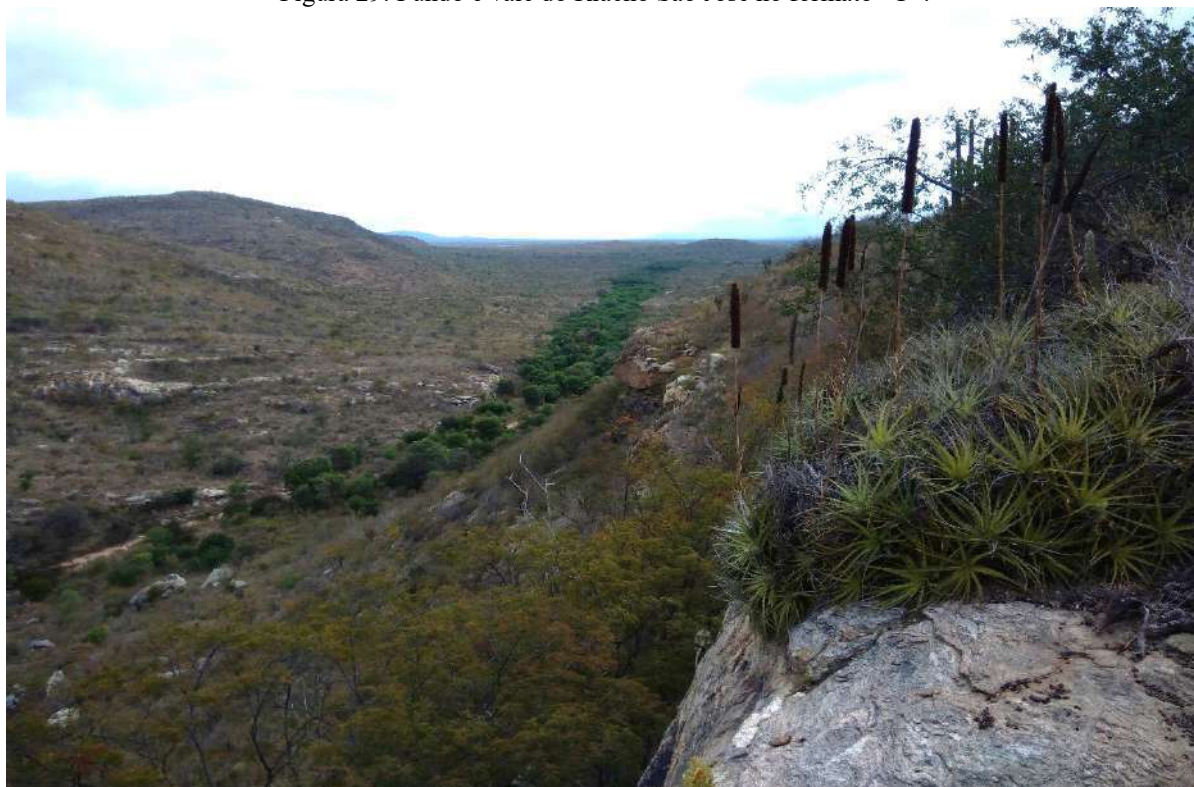
Fonte: A. M. S. CHAVES, 2018.

Figura 28: Composição florística de caatinga arbustiva.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2018.

Figura 29: Fundo e vale do Riacho São José no formato “U”.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2018.

As espécies arbustivas e cactáceas compõem de modo mais expressivo a paisagem do médio e baixo curso da BRSJ, dentre essas destacam-se: *Cnidoscolus quercifolius* Pohl/Euphorbiaceae (favela), *Begonia fruticosa*/Begoniaceae (begônia da caatinga), *Cereus jamacar* Cactaceae (mandacaru), *Pilocereus gounellei*/Cactaceae (alastrado), *Pilosocereus*/Cactaceae (facheiro), *Harrisia adscendens*/Cactaceae (rabo de raposa), *Cynophalla flexuosa*/Capparaceae (feijão bravo), *Croton argiophylloides*/Euphorbiaceae (sacatinga), *Croton sonderianus*/Euphorbiaceae (marmeleiro), *Poincianella pyramidalis*/Leguminosae (catingueira), entre outras espécies (VIEIRA, *et al*, 2017).

Por fim, as espécies arbóreas, arbustivas e cactáceas compõem pequena amostra da diversidade fitogeográfica da bacia do Riacho São José. Vale ressaltar que a fitofisionomia da área de caatinga é dinâmica com mudança nas feições e coloração ao longo do ano, a depender principalmente da disponibilidade hídrica, como pode ser verificado nas imagens apresentadas acima. É válido frisar que uma análise mais aprofundada sobre a dinâmica fitogeográfica na BRSJ está apresentada no capítulo a seguir, destacando estruturas horizontal, vertical e a diversidade florística.

---

**CAPÍTULO IV**

**DINÂMICA FITOGEOGRÁFICA DA BACIA DO RIACHO SÃO JOSÉ:**

**ESTRUTURA HORIZONTAL, VERTICAL E DIVERSIDADE**

---



#### **4 DINÂMICA FITOGEOGRÁFICA DA BACIA DO RIACHO SÃO JOSÉ: ESTRUTURA HORIZONTAL, VERTICAL E DIVERSIDADE**

A Fitogeografia compreende um ramo da biogeografia que se dedica ao estudo da estrutura e distribuição da vegetação sobre a superfície terrestre (TROPMAIR, 2002; PASSOS, 2003; FIGUEIRÓ, 2015). Devido a essa especificidade, a Fitogeografia se torna parte integrante da dinâmica da paisagem e de mudanças que ocorrem de ordem natural ou devido a ação antrópica.

Em vista disso, entende-se que a vegetação não pode ser estudada e entendida dissociada do meio em que está inserida, visto que ela integra às complexas relações existentes entre os elementos que compõem a paisagem, como: a geologia, o solo, a geomorfologia, o clima e a influência da ação humana (FIGUEIRÓ, 2015).

Assim, estudar a dinâmica fitogeográfica de uma área, em específico da bacia do Riacho São José, requer compreender a estrutura e a dinâmica da paisagem que interage na formação vegetal em análise, ou seja, a caatinga de área semiárida moderada e subúmida (AB'SÁBER, 2003) na região Agreste pernambucana, caracterizada por mudança de fitofisionomia.

Nesse sentido, a caatinga, domínio fitogeográfico exclusivamente brasileiro, localizada na região Agreste compreende uma diversidade de fitofisionomias que são influenciadas pelas condições geológicas da região semiárida. Em decorrência disso, tem-se formações fisionômicas arbórea, arbórea-arbustiva, arbustiva e herbácea.

Além disso, a caatinga apresenta uma dinâmica em constante equilíbrio com os demais componentes ambientais, sendo afetada principalmente pelos condicionantes climáticos, marcados por anos chuvosos ou secos, afetando a disponibilidade hídrica (SILVA, 2004; GUTIÉRREZ *et al.*, 2014). Por isso, ao longo do ano, ela apresenta-se exuberante e verde durante o inverno (que varia entre dezembro a agosto, a depender de sua localização no Nordeste) e acinzentada durante as estações secas, porém continua a fornecer diversos serviços ao meio ambiente.

Nesse sentido, por estar bem delineada geomorfologicamente, a bacia do Riacho São José representa bem a dinâmica fitogeográfica transacional: formações arbóreas e arbustivas na parte dos planaltos, modificando-se para formações arbustivas e herbáceas na depressão do baixo São Francisco. Vale salientar que essa mudança fisionômica é influenciada pelas variações de relevo, pedologia e condições climáticas.

Como a vegetação compreende um dos elementos mais sensíveis e visíveis da paisagem, ela fornece serviços diversos à sociedade e ao meio ambiente. Isso provocou, ao longo do tempo, a exploração dos recursos vegetais em seus diferentes domínios fitogeográficos, resultando na existência de poucas áreas com vegetação primária na atualidade.

Vale ressaltar que, ao longo da história humana, o uso antrópico feito da vegetação do semiárido levou ao esgotamento da paisagem (revelado na degradação do ambiente), pois com a retirada da vegetação, devido ao desmatamento (TRAVASSOS; SOUZA, 2014), o solo fica exposto a ações diretas dos processos erosivos, tornando-o inapto aos usos antrópicos e, em alguns casos, quando as chuvas são escarças não dando condição para a recuperação ambiental, ocorre o processo de degradação e/ou desertificação.

O processo de desertificação é uma problemática ambiental que afeta o Brasil, com maior abrangência nos estados do Nordeste, em especial o ambiente semiárido que apresentam delicado equilíbrio entre o sistema ambiental e as pressões antrópicas exercidas (MARENGO; BERNASCONI, 2014). Com destaque as porções semiáridas moderadas e subúmidas, na posição a sotavento, como as encostas a oeste do planalto da Borborema (onde localiza-se a BRSJ), cuja suscetibilidade a desertificação é grave, decorrente das mudanças climáticas como diminuição nas tendências de precipitação agravadas pelas atividades agrícolas de agricultura e pecuária (CONTI, 2011; Mendonça; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Por conta disso, estudos visando analisar a dinâmica ambiental do semiárido, como se apresenta a cobertura vegetal e os usos feitos ao longo do tempo, são de grande relevância. Pois, “[...] as chuvas e as plantas representam elementos interatuantes da paisagem, ou seja, ao mesmo tempo que as características da precipitação condicionam as características estruturais e funcionais da vegetação, [...] a vegetação também regula importantes aspectos do clima [...]”, sendo destaque a liberação de umidade pela evapotranspiração (FIGUEIRÓ, 2015, p. 344).

Assim, diante da complexidade que o sistema ambiental apresenta, na singularidade e pluralidade, os processos interativos entre os componentes geoecológicos da paisagem devem ser analisados a partir da “[...] interdependência das partes que formam o conjunto [...]”, pois “[...] a conexão é geral, de forma direta ou tênue, sendo impossível “compreender” qualquer aspecto isolado sem referência à sua função como parte do conjunto [...]” (DREW, 1986, p. 19).

Como bem colocado por Drew (1986), o homem provoca uma alteração na natureza com uma finalidade específica (a exemplo, a retirada da vegetação de uma dada área), no entanto, a mudança no sistema ambiental não obedece apenas a um comando e isso afeta todo o sistema, desde mudanças sutis no microclima até o solo, a exemplo de processos erosivos.

A esse respeito, Salomão (2015) destaca em seus estudos o papel da vegetação como defesa natural contra os processos erosivos. Vale frisar que, para além de processos erosivos, a vegetação é a base de diversos processos ambientais para manutenção da vida na ciclagem ambiental e para serviços ecossistêmicos em seus aspectos climáticos, pedológicos e biológicos.

Diante do exposto, na atualidade, com o advento da geotecnologia, tem-se uma gama de possibilidades para o estudo da dinâmica fitogeográfica. Visto que os procedimentos técnicos e tecnológicos facilitam as pesquisas ambientais com utilização de imagens de satélites, as quais são fontes de análise, diagnóstico e modelagem da distribuição espacial e temporal da vegetação de uma área ou região.

Ao longo do tempo, desde o surgimento do geoprocessamento e sensoriamento remoto, índices para o estudo da vegetação foram desenvolvidos, implementados e melhorados, esse fato contribuiu com as pesquisas científicas na identificação das mudanças que vêm ocorrendo na paisagem geográfica. Para tanto, a imagem de satélite captura a resposta espectral da superfície terrestre por meio das diferentes coberturas existentes, áreas naturais (como as formações vegetais), áreas antrópicas, corpos hídricos, entre outros.

No tocante a vegetação, esta interage com a radiação eletromagnética a partir do processo de fotossíntese na absorção da energia solar pelos pigmentos fotossintetizantes. Esse processo reflete de modo diferencial por meio da radiância das diferentes formações vegetais, como também nas respostas espectrais captadas pelos sensores dos satélites nos tipos fisionômicos dos dosséis (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012).

Diante do exposto, o presente capítulo analisou a dinâmica fitogeográfica da bacia do Riacho São José-PE em três aspectos: estrutura horizontal, com a aplicação do Índice de Vegetação pela Diferença Normalizada (NDVI), no intuito de identificar a distribuição espacial e temporal da vegetação em um recorte de trinta anos (1985, 1995, 2005 e 2015); estrutura vertical, por meio da construção de pirâmides de vegetação para representação gráfica dos diferentes extratos vegetais e interações geográficas; e a diversidade florística através de índices de diversidade, demonstrando a riqueza e as abundâncias das espécies vegetais.

Assim sendo, com a realização dessa análise, acredita-se que foi possível compreender a dinâmica fitogeográfica da bacia do Riacho São José, além de estar associando técnicas e metodologias biogeográficas e ecológicas. A esse respeito, Chaves e Melo & Souza (2019) abordam essa discussão na área estudada por meio da proposição metodológica aqui adotada, fazendo uso do índice de vegetação para selecionar as áreas mais adequadas para construção de pirâmides fitogeográficas e de estimativas da diversidade.



#### **4.1 Estrutura Horizontal: espacialização das fitofisionomias na bacia do Riacho São José-PE**

As fitofisionomias identificadas na bacia do Riacho São José têm variado ao longo do tempo e do espaço. Assim, para entender essa dinâmica se fez o cálculo do índice de vegetação, pois ele permite demonstrar a estrutura horizontal da vegetação por meio de sua espacialização. A esse respeito, dois fatores importantes foram observados: a geomorfologia e os condicionantes do clima.

Em vista disso, cabe destacar que, como mencionado anteriormente, o relevo está incrustado na área planáltica nordestina da Borborema e pediplano do baixo São Francisco, compreendendo feições planas, suave ondulada a ondulada, fortes ondulada, montanhosa e escarpada, sobre os quais ocorre a diferenciação de solos e a cobertura vegetal expressa na paisagem estudada.

No tocante ao clima, os condicionantes climáticos atuam de modo a refletir as diferenças nas cotas altimétricas da BRSJ e o resultante de sua forma do tipo alongada. Isso porque, conforme Botelho (2015), essa diferença diverge do contexto comum estabelecido em bacia de pequeno porte, porém existe exceção quanto às regiões montanhosas ou/e mesmo devido à forma e ao comprimento da bacia.

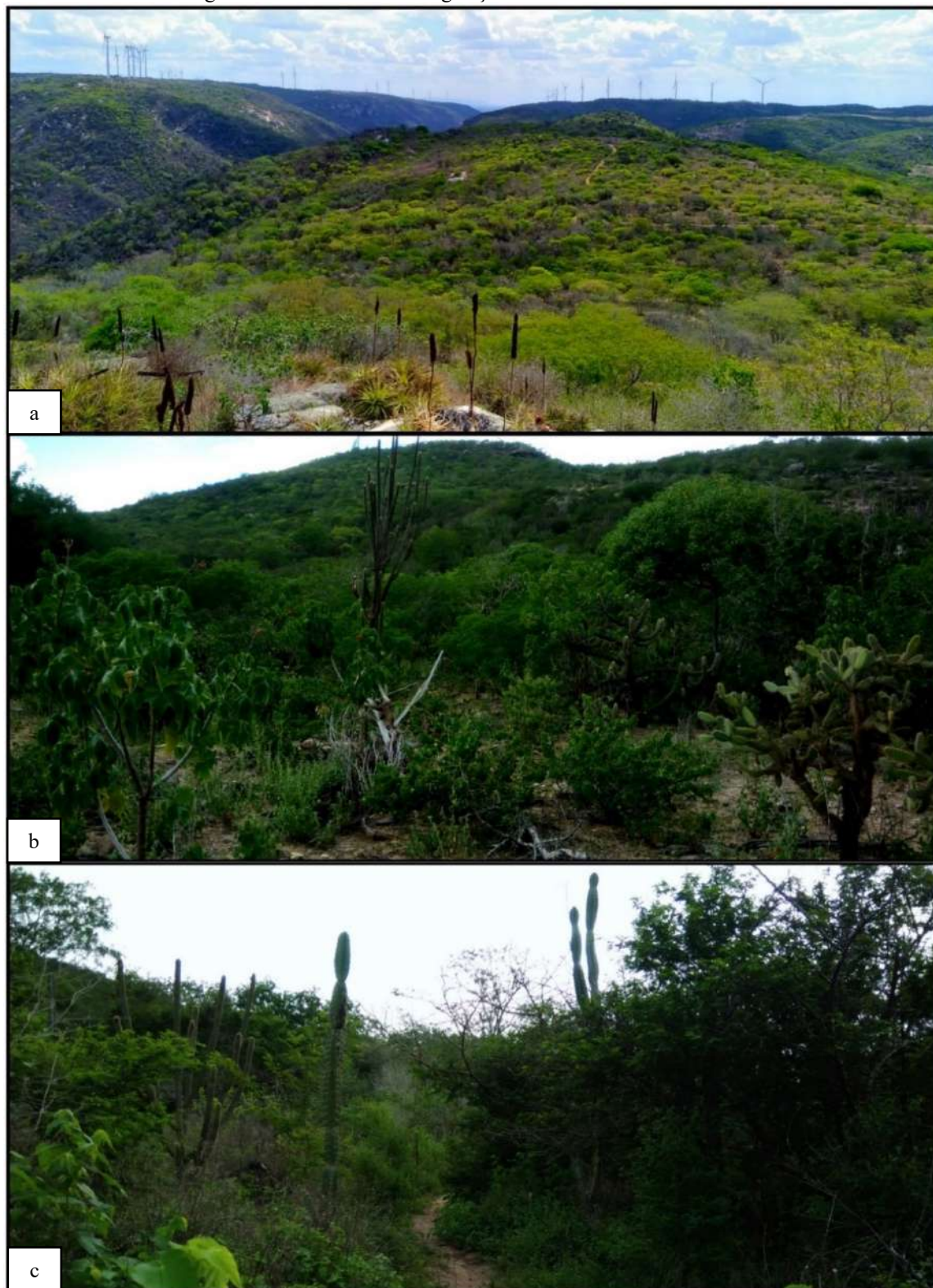
Nesse sentido, as características morfométricas e climáticas do semiárido conferidas diante dos elementos manifestados através do regime hídrico e da distribuição pluvial, são mais incidentes a montante da bacia e a saldos reduzidos a jusante. Isso se dá porque o clima fornece condições quanto à necessidade em disponibilidade de água ou vapor d'água para vegetação, caracterizando-a em xerófitas (plantas capazes de manterem-se com pouca água suportando períodos de seca) e caducifólias (perda das folhas e/ou redução foliar inibindo a perda de água).

Perante as características mencionadas, a conjuntura para manifestação predominante da fitogeografia da caatinga é compreendida por fitofisionomias do tipo arbóreo, arbórea-arbustivo, arbustivo e herbáceo, além da presença de composições rupestres com espécies urticantes, cactos e suculentas sobre os afloramentos rochosos (Figura 30).

É válido salientar que a vegetação arbórea compreende principalmente a área do alto curso da BRSJ, a qual caracteriza formações vegetais abertas, às vezes com exemplares isolados nas áreas agropecuárias, na mata ciliar de alguns cursos hídricos e do fundo do vale. Por sua vez, a vegetação arbórea-arbustiva compreende porções do alto e do médio curso, abrange formações vegetais fechadas e abertas, além de ocuparem, principalmente, as encostas dos vales

(grande parte corresponde a vegetação secundária). Essa fitofisionomia marca, de forma mais acentuada, a transição do ambiente semiárido na região Agreste.

Figura 30: Fisionomias da vegetação na bacia do Riacho São José-PE.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2018; 2020.

(a) Visão panorâmica da vegetação sobre o relevo; (b) Caatinga com característica arbustiva predominante; (C) caatinga arbóreo-arbustiva.

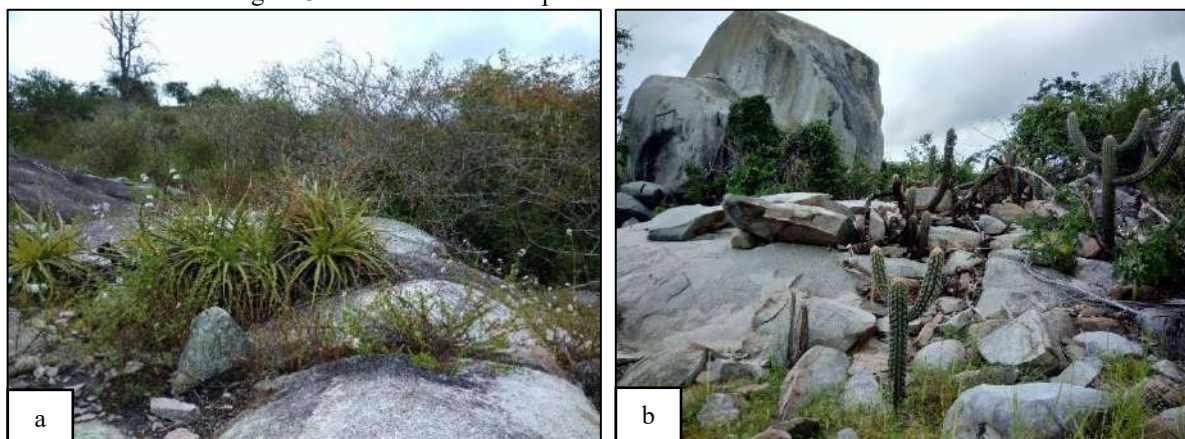
A fitofisionomia arbustiva se distribui por toda a superfície da bacia, com maior expressão no médio e baixo curso. Sendo que no baixo curso predominam as espécies arbustivas herbáceas com algumas arbóreas de forma isolada, com exceção de alguns trechos da mata ciliar com *Prosopis juliflora*, que formam um corredor verde no leito do rio principal.

Já as espécies herbáceas, por sua vez, também se fazem presentes em toda a bacia, compreendendo gramíneas, sendo que no alto curso, normalmente, representam atividades agropecuárias como culturas de subsistência e pastagem para pecuária extensiva.

Nesse contexto, o mosaico de fitofisionomias mostra que ao longo da bacia é comum a presença de espécies das famílias das *Anacardiaceae*, *Euphorbiaceae*, *Fabaceae* e *Cactaceae*. Na figura 30-a se observa a *Encholirium spectabile/bromeliácea* (Macambira-de-flecha) e *Poincianella pyramidalis/fabaceae* (catingueira); a figura 30-b é composta por *Jatropha molissima/Euphorbiaceae* (pinhão-bravo), *Pilosocereus piauhyensis/Cactaceae* (facheiro), *Pilocereus gounellei/Cactaceae* (alastrado), *Tacinga inamoenaquipá/Cactaceae* (quipá), *Spondias tuberosa/Anacardiaceae* (imbuzeiro), *Poincianella pyramidalis/fabaceae* (catingueira) e *Senegalia polyphylla/Fabacea* (carcará); já a figura 30-c, tem as espécies *Jatropha molissima/Euphorbiaceae* (pinhão-bravo), *Chloroleucon dumosu/Fabaceae* (jurema-branca), *Pilosocereus piauhyensis/Cactaceae* (facheiro), *Cereus jamacaru/Cactaceae* (mandacaru), *Schinopsis brasiliensis/Anacardiaceae* (braúna), *Senegalia polyphylla/Fabacea* (carcará) e *Mimosa tenuiflora/Fabaceae* (Jurema-preta).

No médio curso da bacia se encontra uma variação de todas as fitofisionomias abordadas, com destaque para as formações rupestres com predominância de *cactáceas* e ausência de vegetação em algumas áreas. A vegetação rupestre ocorre sobre os afloramentos rochosos (Figura 31), já a ausência de vegetação representa solo exposto e rochas nuas.

Figura 31: Fitofisionomias rupestres na bacia do Riacho São José-PE.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2018-2019.

(a) No médio curso e (b) no baixo curso.

As fitofisionomias apresentadas caracterizam os tipos de vegetação da BRSJ, os quais foram quantificados e especializados por meio do índice de vegetação pela diferença normalizada (NDVI). Os valores estimados foram classificados de acordo com o porte da vegetação e a sua resposta espectral, conforme especificado na metodologia.

O NDVI é amplamente utilizado para caracterizar e classificar a vegetação da caatinga, mas para isso é fundamental a realização de atividade de campo (ARAÚJO; MACHADO; SOUZA, 2019; FERREIRA *et al.*, 2012; FRANCISTO *et al.*, 2012; RÊGO *et al.*, 2012), conferindo assim maior confiabilidade aos resultados obtidos.

Na literatura, observa-se que no ambiente semiárido o NDVI reflete de formar marcante a relação entre o domínio da Caatinga com a precipitação pluvial, pois após as primeiras chuvas a vegetação recompõe a folhagem e os resultados do índice apresentam-se mais elevados (BARBOSA; HUETE; BAETHGEN, 2006; LINS *et al.*, 2017; RODRIGUES *et al.*, 2009).

Esse índice também é utilizado para mensurar o grau de proteção e/ou degradação da superfície terrestre perante análise da condição da cobertura fitogeográfica identificada (MELO; SALES; OLIVEIRA, 2011; SANTOS; AQUINO, 2019; TOMASELLA *et al.*, 2018).

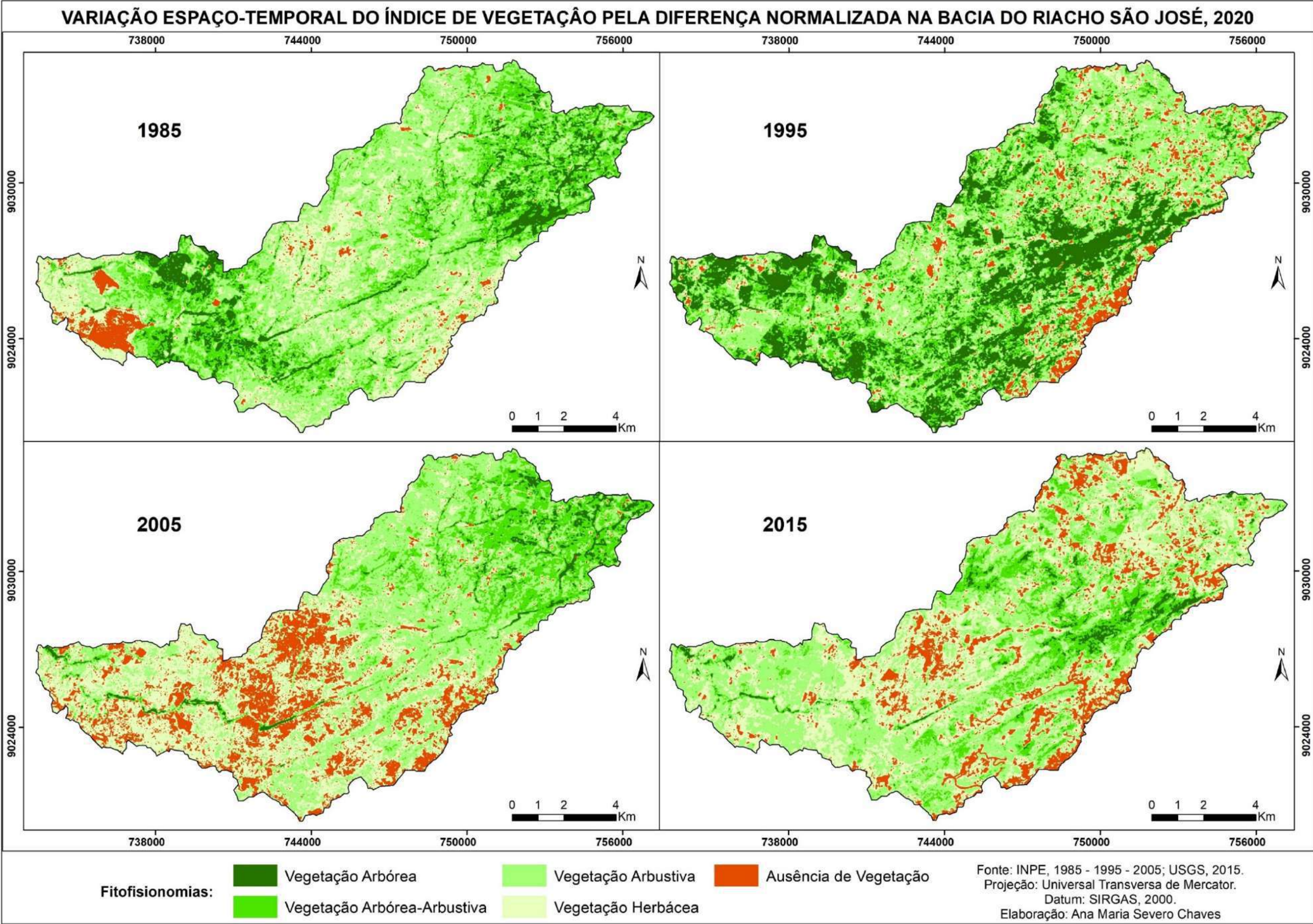
Tais observações, verificadas nos autores acima, são constatadas para a bacia do Riacho São José. De modo geral, o panorama do NDVI nos anos de 1985 e 2005 apresenta-se próximo, com os respectivos valores entre -0,1 e 0,68. Para o ano de 1995 ocorreu uma exceção, devido as precipitações acima da normalidade para o período, o que tornou a vegetação bastante verde, refletindo em índices mais elevados, atingindo máximo de 0,99. Já em 2015 os valores ficaram entre -0,8 a 0,85.

A explicação para os elevados valores no ano de 1995 (imagem de 9 de dezembro), como relatado por Lins *et al.* (2017) e Rodrigues *et al.* (2009), se deve a ocorrência de chuvas nos meses antes a passagem do satélite. Pois, mesmo não sendo comum a ocorrência de precipitações pluviais nos meses de novembro e dezembro no para a área de estudo, essas podem ser provocadas pela influência do fenômeno atmosférico conhecido por *La Niña*, como esclarecido no capítulo anterior.

Perante os resultados do NDVI, classificou-se a vegetação da BRSJ em fitofisionomias: arbórea, arbórea/arbustiva, arbustiva, herbácea e ausência de vegetação (essa última compreende solo exposto, afloramento rochoso e corpo hídrico) (Figura 32). Pois, os valores constatados refletem a estrutura e caracterização da vegetação.



Figura 32: Mapa da variação espaço-temporal do índice de vegetação pela diferença normalizada na bacia do Riacho São José-PE.



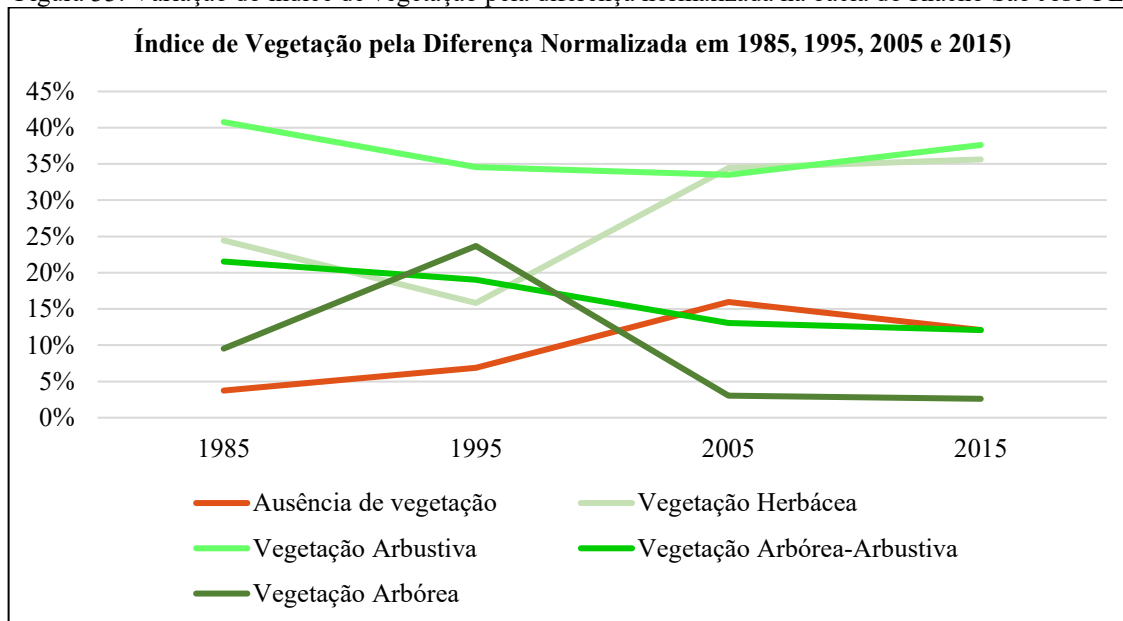
Elaboração: A. M. S. CHAVES, 2020.



Nesse contexto, é importante esclarecer que a classificação foi realizada com rigor e confiabilidade, pois, além dos valores do NDVI, utilizou-se pontos de controle obtidos em atividades de campo, como recomendado por Araújo, Machado e Souza (2019), e observou-se classificações já realizadas na literatura (FRANCISTO *et al.*, 2012; SÁ *et al.*, 2008).

Após a classificação, as fitofisionomias identificadas na BRSJ foram quantificadas para cada ano, 1985, 1995, 2005 e 2015, (Figura 33 e Tabela 19), o que permitiu observar a espacialização e averiguar as mudanças ocorridas na estrutura horizontal da vegetação.

Figura 33: Variação do índice de vegetação pela diferença normalizada na bacia do Riacho São José-PE.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2019.

O contexto espaço-temporal evidencia que a vegetação arbórea vem diminuindo com o passar dos anos, com exceção de 1995 quando os índices foram acima do esperado, principalmente para a classe arbórea, 23,69% da área, ou seja, o dobro da década anterior que compreendia 9,51% (1985) e cinco vezes mais do que a década posterior com 3,03% (2005).

A vegetação arbórea-arbustiva também regrediu ao longo dos anos, passando de 21,54%, em 1985, para 12,09% no ano de 2015, perda territorial de 10, 17 Km<sup>2</sup>. Sendo gradativamente substituída por áreas de vegetação herbácea e de uso antrópico.

Essa situação é comum para o ambiente semiárido, pois, como um recurso natural de valor, a vegetação da caatinga ao longo da história humana tem sido utilizada para diversos fins sociais e econômicos (TRAVASSOS; SOUZA, 2014). Situações semelhantes, de redução das espécies arbóreas são verificadas para o município de Petrolina-PE (FERREIRA *et al.*, 2012),

no médio curso da bacia do Rio Poti no Piauí (SANTOS; AQUINO, 2018) e para microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE (MELO; SALES; OLIVEIRA, 2011).

Tabela 19: Quantificação espaço-temporal do índice de vegetação pela diferença normalizada.

	Casses	Área em Km <sup>2</sup>	Porcentagem
1985	Vegetação Arbórea	13,95	9,51%
	Vegetação Arbórea Arbustiva	31,60	21,54%
	Vegetação Arbustiva	59,81	40,77%
	Vegetação Herbácea	35,84	24,43%
	Ausência de vegetação	5,49	3,74%
	Total	146,69	100,00%
1995	Vegetação Arbórea	34,74	23,69%
	Vegetação Arbórea Arbustiva	27,90	19,02%
	Vegetação Arbustiva	50,72	34,58%
	Vegetação Herbácea	23,21	15,82%
	Ausência de vegetação	10,12	6,90%
	Total	146,69	100,00%
2005	Vegetação Arbórea	4,45	3,03%
	Vegetação Arbórea Arbustiva	19,16	13,06%
	Vegetação Arbustiva	49,15	33,50%
	Vegetação Herbácea	50,53	34,45%
	Ausência de vegetação	23,41	15,96%
	Total	146,69	100,00%
2015	Vegetação Arbórea	3,82	2,60%
	Vegetação Arbórea Arbustiva	17,73	12,09%
	Vegetação Arbustiva	55,15	37,59%
	Vegetação Herbácea	52,25	35,62%
	Ausência de vegetação	17,75	12,10%
	Total	146,69	100,00%

Elaboração: A. M. S. CHAVES, 2019.

Nessa relação, fitofisionomia arbustiva representa maior porção territorial para os anos analisados, com exceção em 2005, quando essa foi superada pela fitofisionomia herbácea. Desse modo, a vegetação arbustiva intercalou de 33% a 40%, sendo a maior porcentagem para

o ano de 1985 (40,77%); diminuiu para 34,58% e 33,50%, em 1995 e 2005, respectivamente; e apresentou indícios de recuperação em 2015, ocupando 37,59% da área da BRSJ.

Vale frisar que a capacidade de recuperação da vegetação arbustiva e herbácea é maior, pois caracterizam espécies menos exigentes para o meio e, normalmente, têm crescimento rápido, ao contrário das espécies arbóreas que precisam de condições mais complexas para seu desenvolvimento, dado de modo lento.

No tocante às espécies herbáceas, essas diminuíram de maneira acentuada de 1985 para 1995, com perda territorial de pouco mais que 12 Km<sup>2</sup>. E de modo inverso aumentaram para as demais datas analisadas, saindo de 23,21 Km<sup>2</sup> para 50,53 Km<sup>2</sup>, em 2005; e de 52,25 Km<sup>2</sup> no ano de 2015, o que permitiu mensurar ampliação do uso antrópico nessas últimas décadas. Pois são fatos comprovados o aumento das áreas com ausência de vegetação que progridem de modo exponencial com o passar dos anos e regredem em torno de pouco mais de 3% no ano de 2015, sendo respectivamente: 3,74% em 1985; 6,90 em 1995; 15,96% em 2005; 12,10% em 2015.

Essa ampliação e retração da vegetação herbácea reflete os modos de apropriação da superfície terrestre. Em alguns casos revelam a ampliação das atividades agrícolas (FERREIRA *et al.*, 2012), em outros destaca o abandono de terras degradadas, acusando a ausência da vegetação (RÊGO *et al.*, 2012; SANTOS; AQUINO, 2018).

Por sua vez, a variação espacial que ocorreu com a vegetação ao longo do tempo confirma que as atividades antrópicas aumentaram, sendo mais acentuadas entre os anos de 1995 e 2005, quando se verifica aumento das classes de vegetação herbácea e a ausência de vegetação. Assim sendo, a situação demonstra mudança no ano de 2015 pela constatação do aumento da classe de vegetação arbustiva e da diminuição da classe ausência de vegetação.

Essa dinâmica espacial e temporal faz refletir sobre o papel da vegetação, a qual é um elemento natural com valor de uso para a sociedade. Nas áreas de caatinga as espécies arbóreas são exploradas devido aos beneficiamentos da madeira para diversos fins, como a comercialização para produção de móveis, telhados, cercas e uso doméstico.

Em decorrência disso, a exploração das árvores no semiárido provocou a diminuição ou escassez de espécies nativas (TRAVASSOS; SOUZA, 2014). A esse respeito foi feito registros da extração de madeira das espécies arbóreas da bacia do riacho São José no baixo curso, sendo que a exploração era principalmente da *Prosopis juliflora*, mas *in loco* constatou-se evidências da retirada de outras espécies (Figura 34).

Essas ações, desencadeadas pela sociedade na apropriação da terra, colaboram para a distribuição espacial de fitofisionomias. Isso se retrata na concentração de espécies arbóreas



nativas da caatinga reduzidas a áreas isoladas ou em grupos nas matas ciliares no Riacho São José e tributários. Um exemplo é o bosque com braúna (*Schinopsis brasiliensis* Engl./*Anacardiaceae*), espécie dominante nessa área que é utilizada para acampamentos e excursões, pois entre a vegetação existem clareiras e trilhas que permitem acesso.

Figura 34: Extração de madeira no baixo curso do Riacho São José-PE



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2019.

(a) *Prosopis juliflora* e (b) *Libidibia ferrea*

No tocante às espécies exóticas, destaca-se a *Prosopis juliflora* ((Sw.) DC/*Fabaceae*), alocada principalmente nas margens e nos leitos dos cursos hídricos, demonstra adaptação a geobiocenose local, pois estende-se de forma predominante às margens do médio e baixo cursos da BRSJ. A referida espécie teve a introdução por ações promovidas pelo Estado, denota estabelecimento do processo de antropocoria, difusão de vegetação pelo homem, e, em virtude de possível hidrocoria, disseminação pela água, visto a presença nos leitos fluviais.

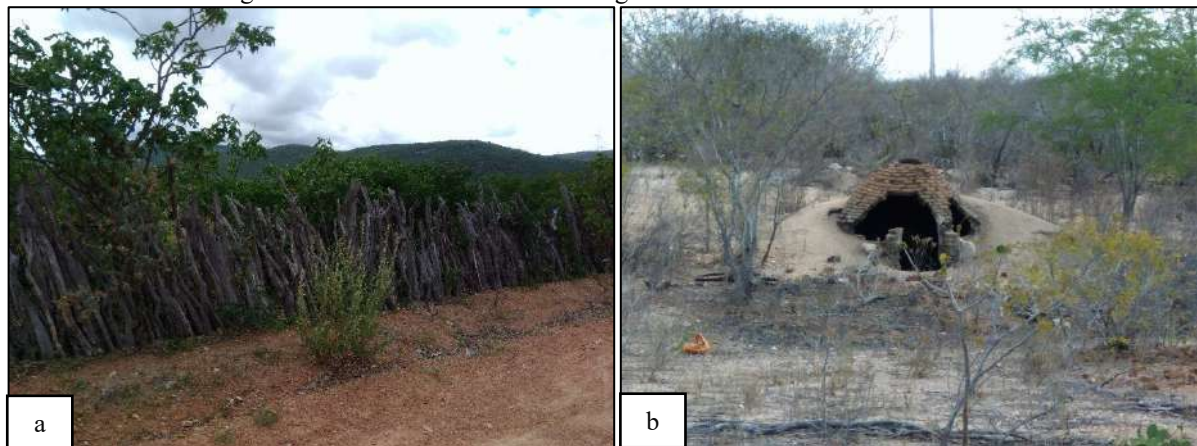
Espécies arbustivas, por não serem constituídas de troncos grossos e altos, normalmente são exploradas para uso doméstico como em cercas, fogões a lenha (figura 35-a) e antigamente nas carvoarias (essa última atividade normalmente ocorre na ilegalidade). Atualmente não se tem registros de carvoarias na BRSJ, mas no baixo curso ainda restam vestígios de uma que funcionava no passado em meio a caatinga (figura 35-b).

A Vegetação herbácea no alto e médio curso compreende principalmente atividades antrópicas, como cultivo agrícola e pastagem para pecuária de extensão (figura 36-a). Mas também existem áreas em recuperação natural com formações herbáceas, subarbustivas e arbustivas (figura 36-b). Essa última faz parte do projeto da empresa responsável pela implantação do parque eólico no município de Caetés.

É válido ressaltar que a ausência de vegetação é um ponto preocupante, pois são as áreas de solo exposto que caracterizam o estado de degradação de áreas da bacia, composto

principalmente por neossolo litólico, no qual predomina vegetação do tipo herbácea e arbustiva com presença de afloramento rochoso e tálus.

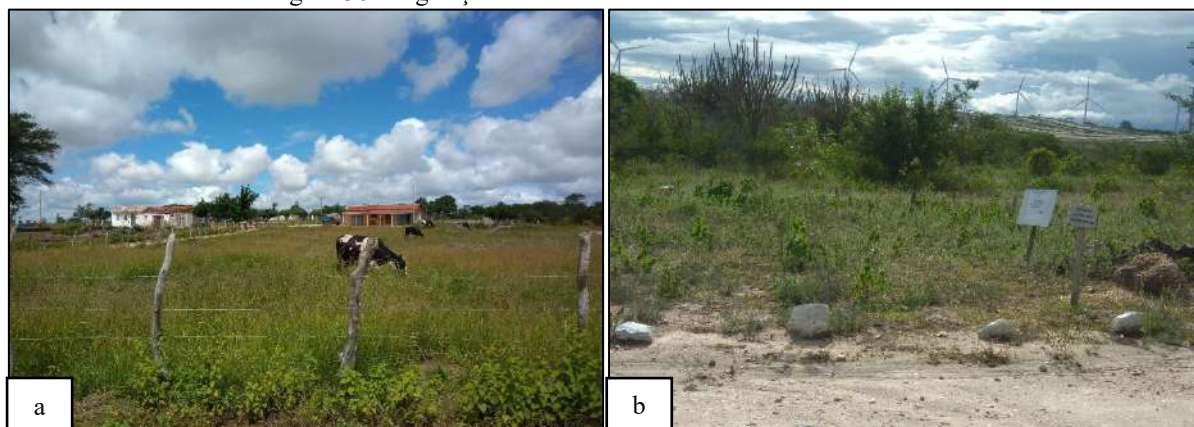
Figura 35: Usos da madeira da caatinga na bacia do Riacho São José-PE.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2019.

(a) Cerca construída a partir de madeira da caatinga e (b) registro de carvoaria inativa.

Figura 36: Vegetação herbácea na bacia do Riacho São José-PE.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2019

(a) Área de pastagem e (b) área regeneração natural da vegetação.

Diante do exposto, acredita-se que o NDVI apresenta boa resposta na análise da estrutura horizontal da vegetação, permitindo identificar a espacialização temporal da vegetação da bacia do Riacho São José. Assim sendo, por meio da assinatura espectral das diferentes formações vegetais, foi possível identificar diferentes fitofisionomias e classificá-las de acordo com os padrões de distribuição sobre o terreno.

Além disso, o NDVI também auxiliou na aplicação de metodologias mais específicas para análise da dinâmica fitogeográfica, pois, a partir da análise de sua variação espaço-temporal, se visualiza na disposição horizontal da vegetação as áreas potenciais para construção

das pirâmides de vegetação para estudo da estrutura vertical e composição fitogeográfica. Proposta desenvolvida em Chaves e Melo & Souza (2019).

#### **4.2 Estrutura Vertical: composição florística e pirâmides de vegetação na Bacia do Riacho São José-PE**

Como já discutido, visualizar na paisagem como a vegetação se distribui permite entender como sua variação está relacionada ao complexo paisagístico em seus componentes (solo, relevo, geologia e clima). Também, como averiguado na análise espacial e temporal do NDVI da BRSJ, foi possível identificar as áreas onde a vegetação mantém-se mais constante, ou seja, não alterada fortemente com o passar dos 30 anos estudados.

Essas áreas, onde a vegetação não apresenta mudanças em suas fitofisionomias, são tidas como pontos representativos da cobertura vegetal, logo, representam bem a diversidade florística da bacia nos diferentes estratos vegetais. Diante desse fato, escolheu-se a partir do NDVI quatro pontos representativos para construção das pirâmides de vegetação.

As Pirâmides de Vegetação (PV) compreendem uma metodologia desenvolvida por Bertrand (1966) para estudo geográfico da vegetação, dando destaque para a sua estrutura vertical, composição florística e a sua inter-relação com o meio do qual faz parte, com ênfase desde o substrato geológico (rocha-mãe) ao microclima local.

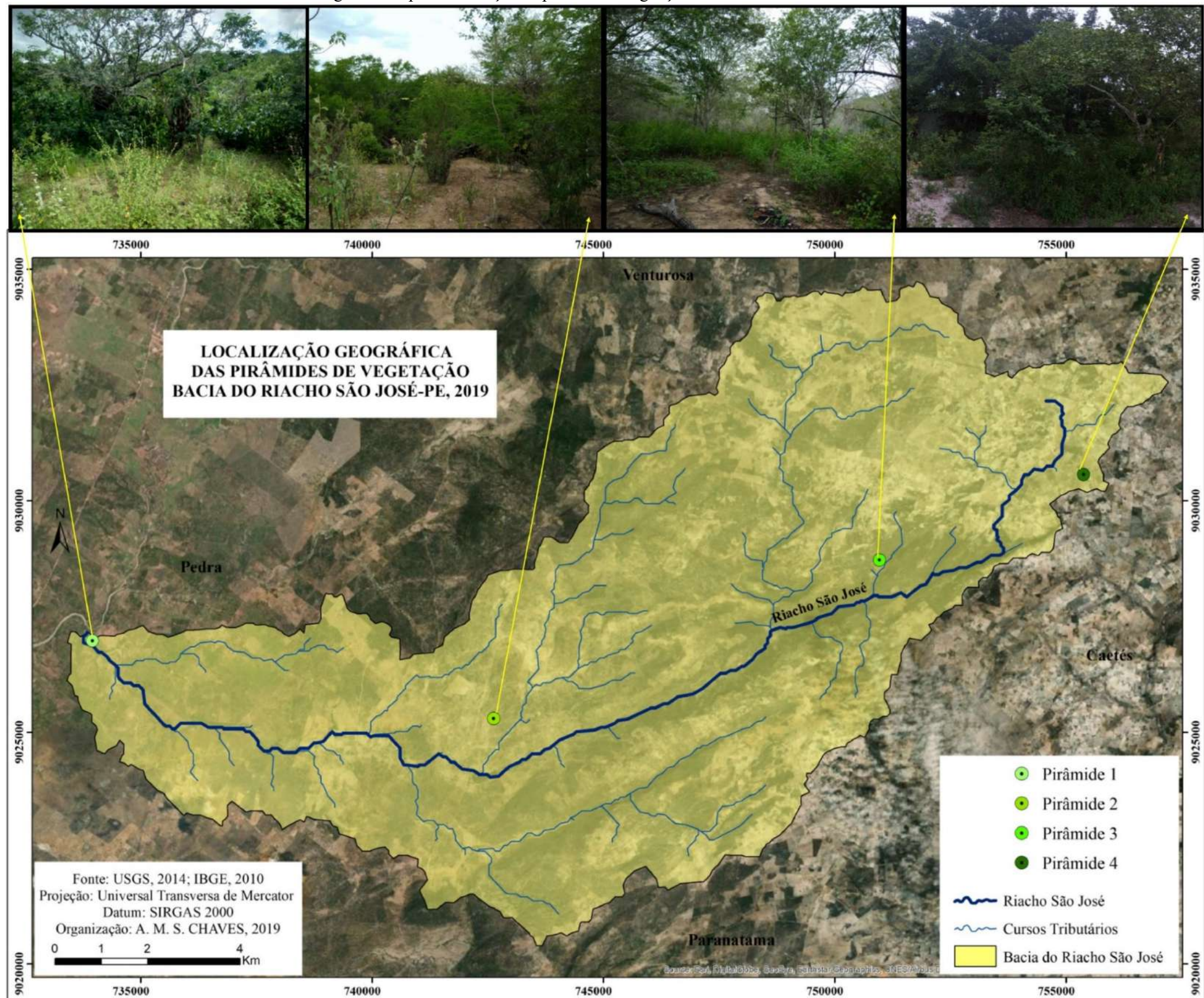
No Brasil, essa metodologia foi utilizada inicialmente por Passos (2000; 2003; 2006; 2017) em pesquisas sobre a vegetação, tendo a primeira contribuição para literatura em 1996. No entanto, em virtude de ser disponibilizada apenas de forma impressa, sua veiculação on-line é pouco acessível, mas vale frisar que Silva (2016) mostra alguns dos trabalhos publicados sobre a temática até o ano de 2013, destacando a importância de Passos como pioneiro.

É notório destacar que a construção das pirâmides permitiu saber como as fitofisionomias existentes estão distribuídas ao longo da bacia. Tendo em vista a composição florística que varia ao longo dela, no sentido de Leste para Oeste, optou-se por construir quatro pirâmides representando as interações geoecológicas que refletem no tapete vegetal arbóreo, arbóreo-arbustivo, arbustivo e herbáceo.

Devido à forma alongada da bacia, optou-se por construir as pirâmides a partir da sua foz a Oeste, visto que essa área compreende o ponto mais distante, já que o acesso à bacia era realizado pelo município de Caetés, que fica a Leste. A figura 37 e o quadro 11 apresentam a localização geográfica das pirâmides, maiores detalhes ambientais são abordados nas fichas biogeográficas.



Figura 37: Mapa de localização das pirâmides de vegetação na bacia do Riacho São José-PE.



Elaboração: A. M. S. CHAVES, 2019.



Quadro 11: Descrição da localização das pirâmides de vegetação do Riacho São José-PE.

	<b>Coordenadas Geográficas</b>	<b>Local</b>	<b>Formação</b>	<b>Estrato</b>
<b>Pirâmide 1</b>	8°47'46" S 36°52'22" O	Sítio Cacimbinha Pedra-PE	Caatinga - arbórea e arbustiva	Todos os estratos vegetais
<b>Pirâmide 2</b>	8°48'39" S 36°47'38" O	Sítio Conceição Caetés-PE	Caatinga - arborescente e arbustiva	Compreende 4 estratos vegetais
<b>Pirâmide 3</b>	8°46'46" S 36°43'6" O	Sítio Serrote Caetés-PE	Caatinga - arbórea, arborescente	Todos os estratos vegetais
<b>Pirâmide 4</b>	8°45'45" S 36°40'42" O	Sítio Lagoa Rasa Caetés-PE	Caatinga e Brejo de altitude	Todos os estratos vegetais

Elaboração: A. M. S. CHAVES, 2019.

Junto ao mapa de localização, traz-se fotos representativas do perímetro delimitado para as pirâmides de vegetação, representando assim a vegetação em seus diferentes estratos. Na análise das fichas biogeográficas e na construção das PV, priorizou dialogar a dinâmica existente na área delimitada, mas como não se pode isolar as partes do todo, leva-se em consideração as informações geocológicas de todo o ambiente correlacionado.

Nessas relações é importante destacar que a pirâmide 01 compreende o baixo curso da BRSJ que está próximo à foz; a pirâmide 02 representa limite entre o médio e o baixo curso, representando área em que é destacada a vegetação arbustiva; a PV 03 compreende porção do alto curso próximo ao médio curso, onde a paisagem revela a mudança de vegetação de espécies arbóreas para arbustiva e a inter-relação entre elas; já a PV 04 representa um refúgio de vegetação, o qual abarca vegetação de mata de altitude e de caatinga.

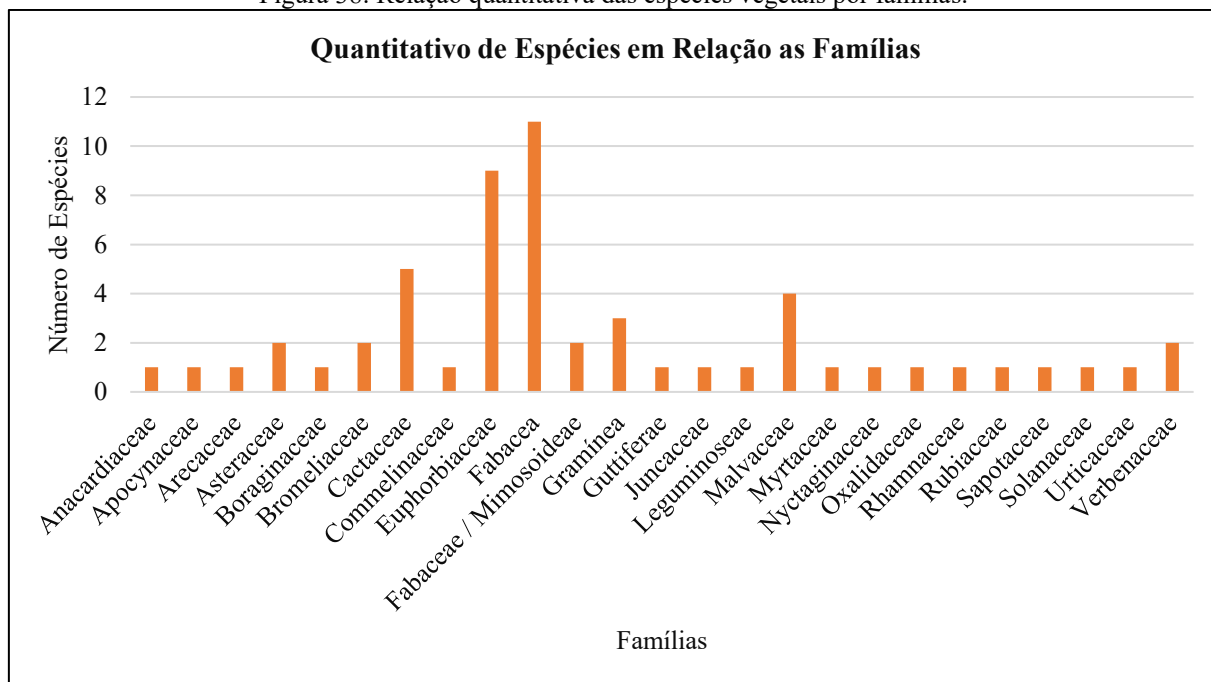
A ficha biogeografia, base das pirâmides, é preenchida e analisadas a partir de dados fitossociológicos, a saber abundância-dominância e a sociabilidade (PASSOS, 2003), sendo a “[...] primeira equivale à superfície coberta pelas plantas e a segunda indica o modo de agrupamento das plantas [...]” (SILVA, 2016). Para isso, dentro de um raio de 10 as espécies foram identificadas, quantificadas e classificadas a partir do porte (estrato).

Esse procedimento, para a construção das pirâmides de vegetação, permitiu conhecer a composição fitogeográfica que caracteriza a BRSJ de modo específico em quatro pontos amostrais. Identificando ao longo da bacia espécies arbóreas endêmicas da caatinga de médio e grande porte, como: *Erythrina velutina* Willd./Fabaceae (mulungu), *Myracrodruon urundeuva* Allemão/Anacardiaceae (aroeira-branca), *Schinopsis brasiliensis* Engl/Anacardiaceae (braúna), *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir./Fabaceae (jurema preta), *Ziziphus joazeiro* Mart./Ramnaceae (juazeiro), entre outras espécies de madeiras com valor econômico e conservacionista (mesmo que em alguns casos estejam isoladas na paisagem).

Também se destacam as espécies arbustivas, subarbustiva e herbáceas, como: *Sida cordifolia* L./Malvaceae (malva-branca), *Croton rhamnifolius* H.B.K. e C./Euphorbiaceae (velame), *Cnidocolus urens* L. Arthur/Euphorbiaceae (urtiga), *Herissantia tiubae* K.Schum./Malvaceae, Brizicky (mela-bode), *Sida galheirensis* Ulbr./Malvaceae (evanço), *Mimosa modesta* Mart./Fabaceae – Mimosoideae (malícia), entre outras.

Assim, foram identificadas vinte e cinco famílias de plantas e cinquenta e seis espécies, desde arbóreas às herbáceas (Figura 38 e Tabela 20). Das famílias verificadas, constata-se que cinco delas se fazem presentes em toda a bacia e compreendem mais de 55% das espécies identificadas, são: *Cactaceae*, com cinco espécies; *Euphorbiaceae*, com 9 espécies; *Fabaceae*, com onze espécies; *Gramínea*, com três espécies; e *Malvaceae*, com quatro espécies.

Figura 38: Relação quantitativa das espécies vegetais por famílias.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.

Situação comum para a vegetação da caatinga, onde poucas famílias compreendem maior quantitativo de espécies, como observado em outros estudos no estado de Pernambuco. Rodal, Martins e Sampaio (2008), nos municípios de Floresta-PE e Custódia-PE, identificaram que as famílias *Euphorbiaceae*, *Cactaceae* e *Leguminosae* compreendem o maior número de espécies; Silva (2008) constatou que as *Euphorbiaceae*, *Leguminosae* e *caesalpinioideae* compreendiam cerca 75% das espécies de duas amostras em São Bento do Una-PE; e Alcoforado-Filho, Sampaio e Rodal (2003), para o município de Caruaru-PR, verificaram maior representatividade nas famílias *Euphorbiaceae*, *Fabaceae* e *Mimosaceae*.

Tabela 20: Diversificação fitogeográfica da Bacia do Riacho São José-PE.

Diversificação da fitogeografia da Bacia do Riacho São José			
Localização	Família	Espécies / quantidade	Total de espécies
Sítio Cachimbinha Pedra-PE P1	Cactaceae	<i>Cereus jamacaru</i> , <i>Tacinga palmadora</i> , <i>Pilocereus gounellei</i> , <i>Tacinga inamoena</i> e <i>Pilosocereus spp</i>	5
	Euphorbiaceae	<i>Jatropha molissima</i> , <i>Croton rhamnifolius</i> , <i>Pilocereus gounellei</i> e <i>Chidoscopus urens</i>	4
	Fabaceae	<i>Erythrina velutina</i> , <i>Sena sp</i> , <i>Poincianella pyramidalis</i> , <i>Piptadenia sp</i> e <i>Senegalia polyphylla</i>	5
	Gramineae	<i>Lolium multiflorum</i>	1
	Leguminosaeae	<i>Prosopis juliflora</i>	1
	Malvaceae	<i>Sida cordifolia</i>	1
	Rhamnaceae	<i>Ziziphus joazeiro</i>	1
	Sapotaceae	<i>Sideroxylon obtusifolium</i>	1
	Urticaceae	<i>Urtica Ferox</i>	1
Sítio Conceição Caetés-PE P2	Apocynaceae	<i>Aspidosperma pyriforme</i>	1
	Bromeliaceae	<i>Bromelia laciniosa</i>	1
	Cactaceae	<i>Tacinga palmadora</i> e <i>Tacinga inamoena</i>	2
	Commelinaceae	<i>Commelina benghalensis</i>	1
	Euphorbiaceae	<i>Jatropha molissima</i> , <i>Croton rhamnifolius</i> , <i>Jatropha sp</i> , <i>Chidoscopus urens</i>	4
	Fabaceae	<i>Amburana cearensis</i> , <i>Poincianella pyramidalis</i> , <i>Senegalia polyphylla</i> , <i>Piptadenia sp</i> e <i>Bauhinia cheilantha</i>	5
	Gramineae	<i>Gramínea sp1</i> , <i>Lolium multiflorum</i>	2
	Malvaceae	<i>Waltheria indica</i> , <i>Sida cordifolia</i> , <i>Herissantia tiubae</i> e <i>Sida galheirensis</i>	4
	Rubiaceae	<i>Borreria verticillata</i>	1
	Verbenaceae	<i>Lippia sidoides</i>	1
Sítio Serrote Caetés-PE P3	Anacardiaceae	<i>Myracrodruon urundeuva</i> e <i>Schinopsis brasiliensis</i>	2
	Cactaceae	<i>Pilosocereus spp</i> e <i>Cereus jamacaru</i>	2
	Euphorbiaceae	<i>Jatropha molissima</i> , <i>Euphorbia phosphorea</i> e <i>Croton tricolor</i>	3
	Fabaceae	<i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Libidibia ferrea</i> , <i>Chloroleucon dumosum</i> e <i>Piptadenia sp</i>	4
	Gramineae	<i>Gramínea sp2</i>	1
	Malvaceae	<i>Herissantia tiubae</i> e <i>Sida galheirensis</i>	2
	Nyctaginaceae	<i>Boerhavia diffusa</i>	1
	Solanaceae	<i>Capsicum parvifolium</i>	1
	Oxalidaceae	<i>Oxalis debilis</i>	1
	Verbenaceae	<i>Lippia sidoides</i>	1
Sítio Lagoa Rasa Caetés-PE P4	Areaceae	<i>Syagrus coronata</i>	1
	Asteraceae	<i>Ageratum conyzoides</i> e <i>Vanillosmopsis erythropapa</i>	2
	Boraginaceae	<i>Varronia globosa</i>	1
	Bromeliaceae	<i>Hohenbergia catingae</i>	1
	Cactaceae	<i>Cereus jamacaru</i>	1
	Euphorbiaceae	<i>Sapium argutum</i> , <i>Croton zehntneri</i> , <i>Croton rhamnifolius</i> e <i>Chidoscopus urens</i>	4
	Fabaceae	<i>Hymenaea eriogyne</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Senegalia polyphylla</i> e <i>Senna martiana</i>	4
	Fabaceae/Mimosoideae	<i>Mimosa modesta</i> e <i>Mimosa quadrivalvis</i>	2
	Gramineae	<i>Gramínea sp3</i> e <i>Gramínea sp4</i>	2
	Guttiferae	<i>Clusia nemorosa</i>	1
	Juncaceae	<i>Juncus L.</i>	1
	Malvaceae	<i>Sida cordifolia</i>	1
	Myrtaceae	<i>Psidium sp</i>	1
	Solanaceae	<i>Capsicum parvifolium</i>	1
	Verbenaceae	<i>Lantana camara L</i>	1

Fonte: A.M.S. CHAVES, 2019.



Em comum, se destaca a família *Euphorbiaceae* nos respectivos estudos e na bacia do Riacho São José. Para a BRSJ as famílias *Cactaceae*, *Euphorbiaceae* e *Fabacea* estão presentes nas quatro áreas amostrais.

De modo geral, no alto curso identificou-se predomínio de espécies individuais por família ao mesmo tempo que se verificou maior quantitativo de famílias. Já na parte do médio e baixo curso, embora revelem menor quantitativo de famílias, as espécies são mais variadas. Sendo importante destacar que as espécies vegetais, arbóreas, arbustivas e herbáceas são essenciais para o funcionamento e para a dinâmica do sistema, pois compreendem espécies visitadas pelas abelhas e pequenos animais essenciais à vida em todas as suas dimensões.

Como destacado, a base para construção das PV é o preenchimento das fichas biogeográficas, as quais distinguem as espécies em diferentes níveis de estratos. Diante disso, a mesma espécie pode fazer parte de mais de um estrato, ou seja, o estrato arbóreo (acima de 7 m de altura) e arborescente (3 a 7 m de altura) ou arbustivo (1 a 3 m de altura) e subarbustivo (0,50 m a 1 m de altura). Assim, a ficha 01 (Quadro 12) é a base da pirâmide 01.

A primeira pirâmide de vegetação (Figura 39) está sobre um terreno plano, mas próximo à encosta suave ondulada. No raio de 10 m delimitado, as espécies arborescentes e arbustivas compreendem estado de equilíbrio, cobrindo mais de 50% e 75% da área. Já o estrato arbóreo compreendeu apenas duas unidades, as espécies mulungu (*Erythrina velutina*) e algaroba (*Prosopis juliflora*), que compreendem altura acima de 07 metros. Sendo que a algaroba também faz parte do estrato arborescente, pois apresenta árvores como menos de 07 metros. No entanto, o entorno possui outras espécies arbóreas com mais de 10 m de altura.

Na área, como representado na PV 01, as espécies subarbustivas e herbáceas recobrem quase toda área em estado de progressão, ou seja, possuem a capacidade de expansão, já que apresentam um ritmo de desenvolvimento e renovação mais rápido em relação às demais espécies.

E como a PV 01 encontra-se no baixo curso, ela recebe sedimentos das porções mais altas. Além de ter por embasamento rochas metamórficas e formação de solos bem desenvolvidos e ricos em bases (os planossolos háplicos), porém com déficit hídrico, situação comum ao ambiente semiárido.

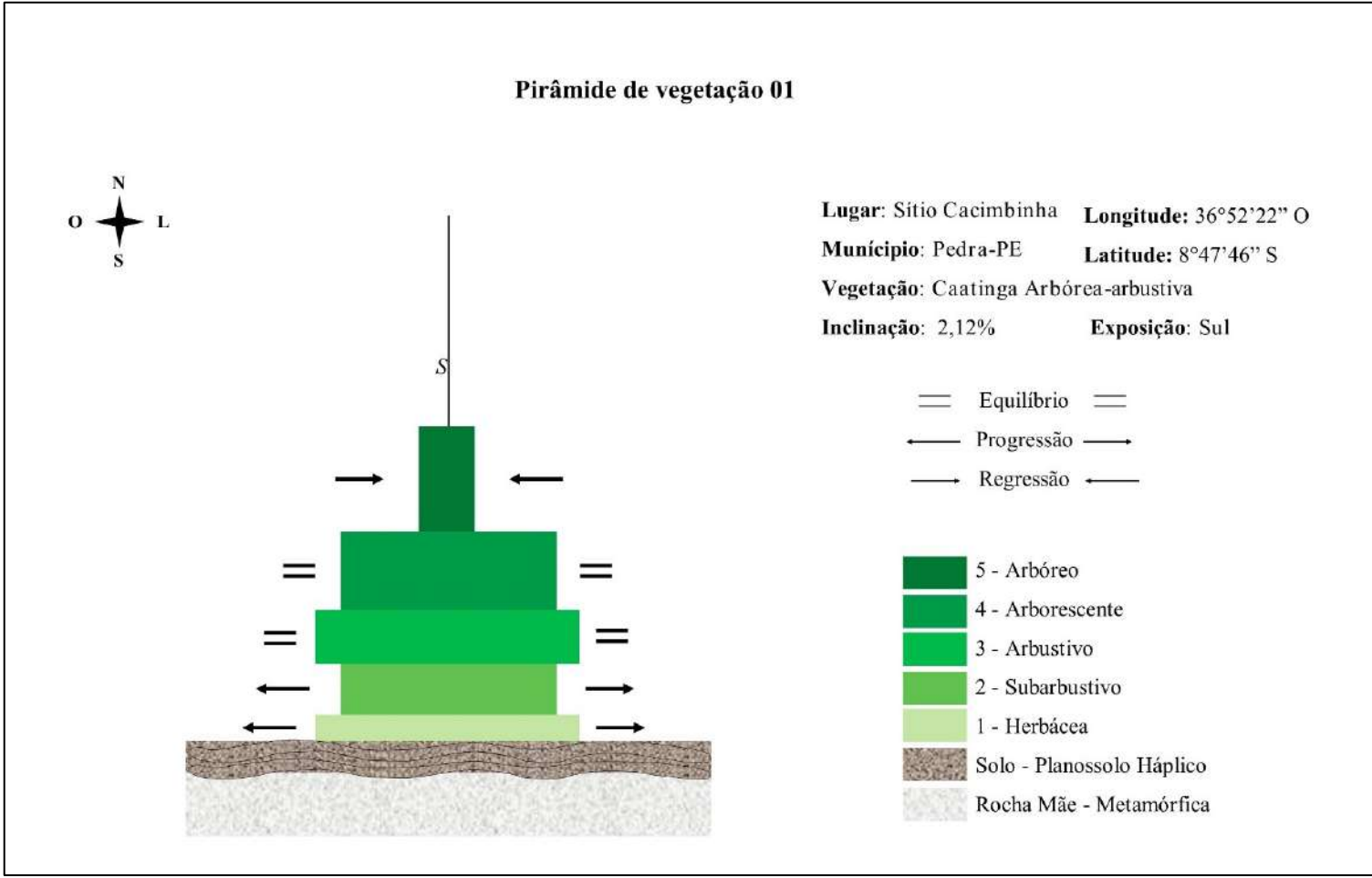
Condições geológicas, geomorfológicas e pedológicas semelhantes compõem a segunda pirâmide (Figura 40), como demonstra a ficha biogeográfica 02 (Quadro 12). Acredita-se que essa pirâmide seja área de cobertura vegetal secundária, pois não possui estrato arbóreo, predominando as espécies arborescentes e arbustivas.

Quadro 12: Ficha biogeográfica 01.

FICHA BIOGEOGRÁFICA						
Número: 01		Formação Vegetal: Savana Estépica Arbórea-arbustiva				
Região Geográfica: Sítio Cacimbinha		Domínio Bioclimático: Savana decidual				
Município: Pedra-PE		Série: Caatinga Arbórea-arbustiva				
Data: 08/05/2019		Longitude: 36°52'22" Oeste			Latitude: 8°47'46" Sul	
	Espécies por Estrato	Nº de Espécies	Altura (m) Aprox.	Espécie		Estrato
	Nome popular - Nome científico (família)			A / D	S	A/D - Dinâmica
Arbóreo	<i>Erythrina velutina</i> Willd (Fabaceae) - Mulungu	1	10 m	+	1	+
	<i>Prosopis juliflora</i> (Leguminosae) - Algaroba	1	12 m	+	1	→Regressiva←
Arborecente	<i>Sideroxylon obtusifolium</i> (Sapotaceae) - Quixaba	3	6 m	+	1	4 = Equilíbrio =
	<i>Sena sp</i> (Fabaceae) - Canafístula-de-lajedo	8	3 m	3	1	
	<i>Prosopis juliflora</i> (Leguminosae) - Algaroba	30+	3 - 6 m	4	3	
	<i>Poincianella pyramidalis</i> (Fabaceae) - Catingueira	30+	3 - 6 m	4	3	
	<i>Piptadenia sp</i> (Fabaceae) - Espinheiro branco	2	6 m	+	1	
	<i>Senegalia polyphylla</i> (Fabaceae) - Carcará	3	4 m	+	1	
	<i>Cereus jamacaru</i> (Cactaceae) - Mandacaru	1	5 m	+	1	
	<i>Ziziphus joazeiro</i> (Rhamnaceae) - Juazeiro	1	4 m	+	1	
	<i>Jatropha molissima</i> (Euphorbiaceae) - Pinhão bravo	20	3 - 5 m	3	4	
Arbustivo	<i>Tacinga palmadora</i> (Cactaceae) - Quipá	10	1 - 3 m	4	2	5 = Equilíbrio =
	<i>Sida cordifolia</i> (Malvaceae) - Malva-branca	30+	1 - 2 m	5	3	
	<i>Croton rhamnifolius</i> (Euphorbiaceae) - Velame	1	1,5 m	+	3	
	<i>Pilocereus gounellei</i> (Cactaceae) - Alastrado	15	1,5 m	4	1	
	<i>Croton argiophylloides</i> (Euphorbiaceae) - Sacatinga	2	1 m	+	1	
	<i>Cereus jamacaru</i> (Cactaceae) - Mandacaru	1	1 m	+	1	
	<i>Sp</i> (Indeterminado) - Mata-febre	15	2 m	4	3	
	<i>Jatropha molissima</i> (Euphorbiaceae) - Pinhão bravo	11	2 m	3	1	
Subarbustivo	<i>Croton rhamnifolius</i> (Euphorbiaceae) - Velame	30+	90 cm	3	3	4 ←Progressiva→
	<i>Cnidoscolus urens</i> (Euphorbiaceae) - Urtiga	30+	30 - 90 cm	3	3	
	<i>Tacinga inamoena</i> (Cactaceae) - Palmatória	30+	30 - 70 cm	3	4	
	<i>Pilosocereus spp</i> (Cactaceae) - Facheiro	1	80 cm	+	1	
Herbáceo-Rasteiro	<i>Sp</i> (Indeterminado) - Rama de várzea	30+	20 - 30 cm	3	3	5 ←Progressiva→
	<i>Urtica Ferox</i> (Urticaceae) - Tamiarana	30+	25 cm	4	4	
	<i>Lolium multiflorum</i> (Graminea) - Capim-azevém	30+	10 cm	5	5	
Húmus e Serapilheira: não forma, apenas folhas secas e galhos secos na parte de encosta com presença de sedimentos.						
Altitude: 470 m		Inclinação: 2,12% (Plana)		Exposição Geográfica: Sul		
Clima: Tropical Semiárido		Precipitação: 68 mm (Média - Balanço Hídrico-BH)		Temperatura: 25°C (Média - BH)		
Rocha-mãe: Metamórfica (Domínios das sequências vulcanossedimentares proterozoicas dobradas)						
Solo: Planossolo háplico		Erosão: Laminar com formação de ravinas				
Ação Antrópica: Criação de animais (bovino e equino) e exploração da madeira, com destaque a espécie algaroba.						
Dinâmica de Conjunto: Compreende uma área onde a vegetação apresenta-se preservada na maior parte da encosta, a vegetação que ocupa parte do leito do riacho é predominantemente a espécie algaroba, a qual está em exploração com a retirada de madeira e queimada dos restos de galhos sem utilização no próprio curso; A criação de animais soltos se deve a presença do capim que não é abundante no raio de construção da pirâmide, no entanto é em seu entorno e por todo curso; Também se verifica a formação de ravinas por erosão laminar, causadas pelo escoamento da água das chuvas em solos com baixa cobertura vegetal, como ausência de herbáceas.						

Organização: A. M. S. CHAVES, 2019.

Figura 39: Pirâmide de vegetação 01.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2019.

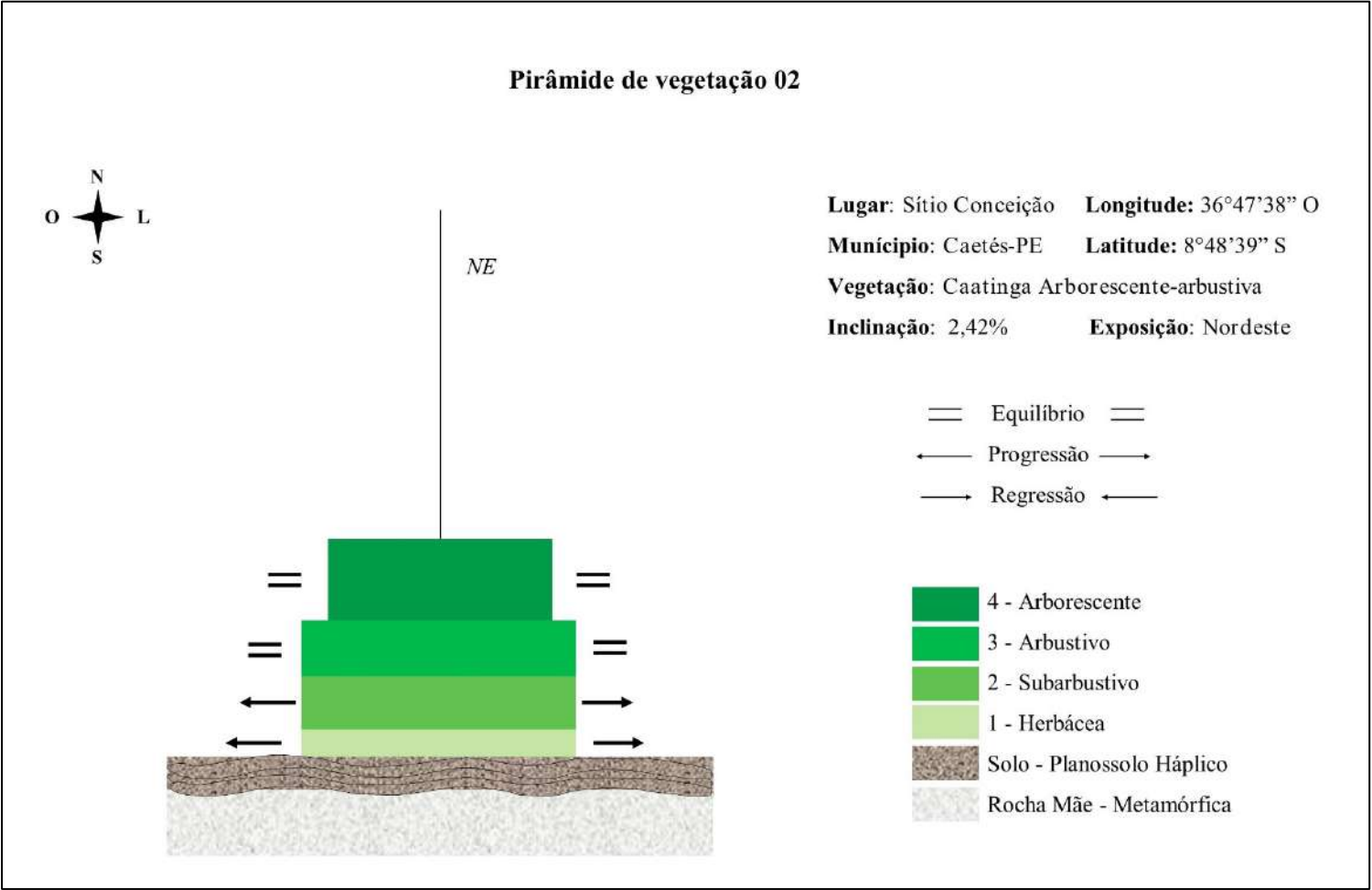


Quadro 13: Ficha biogeográfica 02.

FICHA BIOGEOGRÁFICA						
Número: 02		Formação Vegetal: Savana Estépica Arbustiva				
Região Geográfica: Sítio Conceição		Domínio Bioclimático: Savana decidual				
Município: Caetés-PE		Série: Caatinga Arborescente-arbustiva				
Data: 09/05/2019		Longitude: 36°47'38" Oeste			Latitude: 8°48'39" Sul	
Espécies por Estrato		Nº de Espécies	Altura (m) Aprox.	Espécie		Estrato
Nome popular - Nome científico (família)				A / D	S	A/D - Dinâmica
Arbóreo	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Arborescente	Amburana cearensis (Fabaceae) - Imburana Poincianella pyramidalis (Fabaceae) - Catingueira Senegalia polyphylla (Fabaceae) - Carcará Piptadenia sp (Fabaceae) - Espinheiro-Branco	1 20 2 1	5,5 m 3 - 5 m 3 m 4,5 m	++ 5 ++ +	1 5 1 1	4 = Equilíbrio =
Arbustivo	Lippia sidoides (Verbenaceae) - Alecrim Jatropha molissima (Euphorbiaceae) - Pinhão Bravo Waltheria indica (Malvaceae) - Malva-Amarela Sida cordifolia (Malvaceae) - Malva-branca Tacinga palmadora (Cactaceae) - Quipá Aspidosperma pyrifolium (Apocynaceae) - Pereiro Bauhinia cheilantha (Fabaceae) - Mororó Croton rhamnifolius (Euphorbiaceae) - Velame Herissantia tiubae (Malvaceae) - Mela-bode	12 30+ 30+ 15 2 1 2 30+ 30+	1 - 2 m 2 m 1,5 m 1,5 m 1,5 m 1,5 m 2 m 1,5 m 1,5 m	3 5 5 4 ++ ++ ++ 5 5	1 2 3 3 1 1 1 3 3	5 = Equilíbrio =
Subarbustivo	Jatropha sp (Euphorbiaceae) - Pião comum Cnidoscolus urens (Euphorbiaceae) - Urtiga Tacinga inamoena (Cactaceae) - Palmatória Bromelia laciniosa (Bromeliaceae) - Macambira-de-cachorro	30+ 30+ 30+ 30+	90 cm - 1 m 80 cm - 1 m 60 cm 80 cm	5 5 5 4	3 3 4 3	5 ← Progressiva →
Herbáceo-Rasteiro	Graminea spl (Gramineae) - Grama Lolium multiflorum (Graminea) - Capim azevém Commelina benghalensis (Commelinaceae) - Andacá Sida galheirensis (Malvaceae) - Ervaço Borreria verticillata (Rubiaceae) - Vassourinha de botão	30+ 30+ 30+ 30+ 30+	05 - 07 cm 05 - 08 cm 10 cm 30 cm 15 - 25 cm	5 5 5 5 5	3 3 4 3 3	5 ← Progressiva →
Húmus e Serapilheira: não forma, folhas secas e galhos na superfície com presença de sedimentos.						
Altitude: 545 m		Inclinação: 2,42% (Plana)		Exposição Geográfica: Nordeste		
Clima: Tropical Semiárido		Precipitação: 68 mm (Média - Balanço Hídrico-BH)		Temperatura: 24°C (Média - BH)		
Rocha-mãe: Metamórfica (Domínios das sequências vulcanossedimentares proterozoicas dobradas)						
Solo: Planossolo háplico		Erosão: Laminar com formação de sulcos				
Ação Antrópica: Criação de animais (bovino e equino).						
Dinâmica de Conjunto: Compreende uma área onde a vegetação apresenta-se preservada com exceção das trilhas de passagens abertas para passagem de pessoas e animais criados soltos, os quais não provocam muito impacto; a ação antrópica é pequena não interferindo na dinâmica local; se verifica a formação de sulcos por erosão laminar, causadas pelo escoamento da água das chuvas nas trilhas por serem desprovidas cobertura vegetal como as herbáceas.						

Organização: A. M. S. CHAVES, 2019.

Figura 40: Pirâmide de vegetação 02.

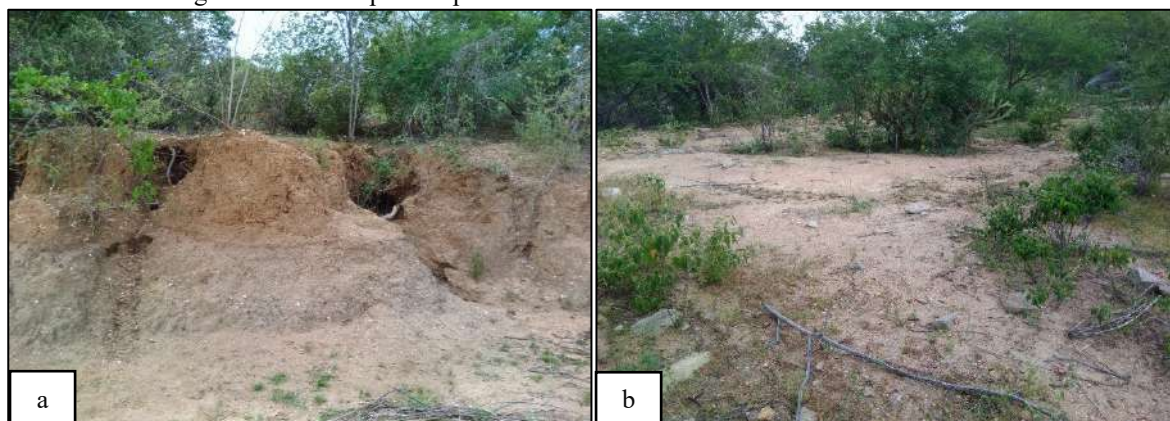


Fonte: A. M. S. CHAVES, 2019.

A segunda pirâmide apresenta elementos semelhantes a PV 01, sendo que essa é composta por quatro estratos vegetais: dois estão em estado de equilíbrio (arborescente e arbustivo) e os outros dois em fase de progressão (os subarbustivos e as herbáceas).

Nas pirâmides 01 e 02 não se formam serapilheira, sobre o solo se encontra folhas e galhos secos juntos a sedimentos (Figura 41). Em ambas foi identificado processos erosivos no perímetro e no entorno, como ravinas (PV 01) e pequenos sulcos (PV 02) devido a ação hídrica das chuvas sobre o solo exposto.

Figura 41: Solo exposto e processos erosivos na bacia do Riacho São José-PE



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2019.

(a) Na na pirâmide 01 e (b) na pirâmide 02.

Já no perímetro de preenchimento da ficha biogeográfica para construção da terceira pirâmide, não foi identificado processo erosivo em sua a área ou adjacências (Quadro 14). Isso se deve ao fato dessa pirâmide estar em encosta, mais precisamente sua base em condições quase planas, compreendendo área de recebimento de sedimentos e outros materiais erodidos e percolados pelos processos de escoamento superficial e lixiviação.

Devido à localização geográfica da PV 3, área de deposição que recebe nutrientes, que compreende uma área na qual o neossolo litólico está melhor desenvolvido e forma inclusive fina camada de serapilheira, a cobertura vegetal é densa em seus diferentes estratos, como esboçado na pirâmide número três (Figura 42).

No que se refere aos estratos vegetais, se destacam os três maiores: arbórea, arborescente e arbustivo, todos em estado de equilíbrio. Já o estrato das espécies herbáceas são abundantes e dominam mais de 75% da área, mas em estado de progressão. No entanto, o estrato dois é composto por uma única espécie subarbustiva, refletindo em estado regressivo.

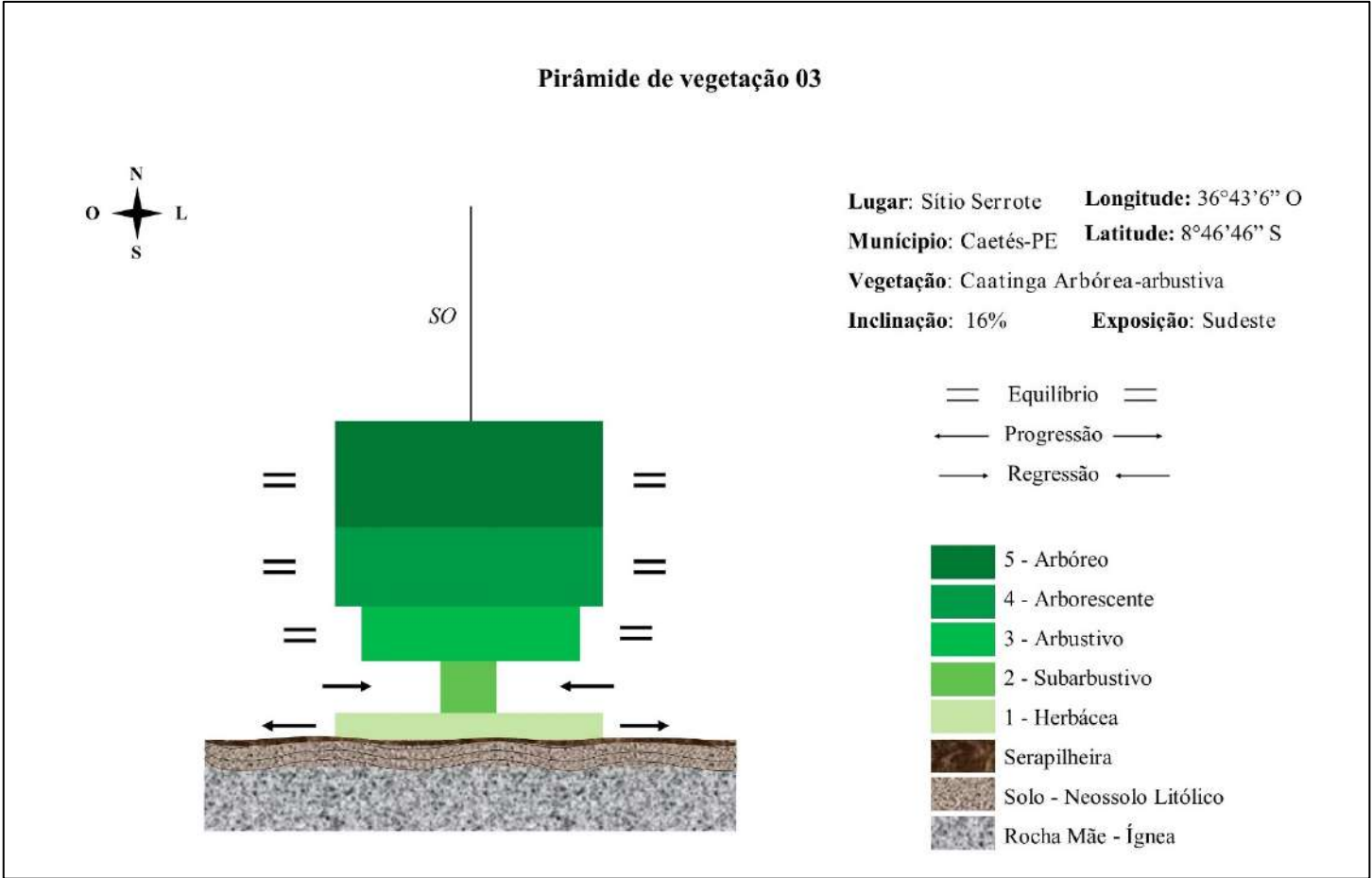


Quadro 14: Ficha biogeográfica 03.

FICHA BIOGEOGRÁFICA						
Número: 03		Formação Vegetal: Savana Estépica Arbórea				
Região Geográfica: Sítio Serrote		Domínio Bioclimático: Savana decidual				
Município: Caetés-PE		Série: Caatinga Arbórea				
Data: 09/05/2019		Longitude: 36°43'6" Oeste		Latitude: 8°46'46" Sul		
Espécies por Estrato		Nº de Espécies	Altura (m) Aprox.	Espécie		Estrato
Nome popular - Nome científico (família)				A / D	S	A/D - Dinâmica
Arbóreo	<i>Myracrodruon urundeuva</i> (Anacardiaceae) - Aroeira branca	1	10 m	+	1	5 = Equilíbrio =
	<i>Schinopsis brasiliensis</i> (Anacardiaceae) - Braúna	5	7 - 20 m	3	3	
	<i>Mimosa tenuiflora</i> (Fabaceae) - Jurema-preta	1	7 m	+	1	
	<i>Libidibia ferrea</i> (Fabaceae) - Pau-ferro	1	8 m	+	1	
	<i>Euphorbia phosphorea</i> (Euphorbiaceae) - Avelós	1	7 m	+	1	
Arborescente	<i>Chloroleucon dumosum</i> (Fabaceae) - Jurema-branca	7	3 - 4 m	4	3	5 = Equilíbrio =
	<i>Jatropha molissima</i> (Euphorbiaceae) - Pião bravo	1	3 m	+	1	
	<i>Pilosocereus spp</i> (Cactaceae) - Facheiro	2	3,5 m	+	1	
	<i>Cereus jamacaru</i> (Cactaceae) - Mandacaru	2	5 m	+	1	
	<i>Piptadenia sp</i> (Fabacea) - Espinheiro-branco	1	3 m	+	1	
Arbustivo	<i>Croton tricolor</i> (Euphorbiaceae) - Sacatinga-branca	3	1,5 m	+	1	4 = Equilíbrio =
	<i>Capsicum parvifolium</i> (Solanaceae) - Pimenta-de-cachorro	10	1,5m	3	2	
	<i>Herissantia tiubae</i> (Malvaceae) - Mela-bode	30+	1,5 - 2 m	5	3	
	<i>Lippia sidoides</i> (Verbenaceae) - Alecrim	5	1 - 3 m	+	1	
Subarbustivo	<i>Oxalis debilis</i> (Oxalidaceae) - Azedinho	1	80 cm	+	1	+ → Regressão ←
Herbáceo-Rasteiro	<i>Sida galheirensis</i> (Malvaceae) - Ervaço	30+	30 cm	4	3	5 ← Progressão →
	<i>Boerhavia diffusa</i> (Nyctaginaceae) - Pega-pinto	1	30 cm	+	1	
	<i>Gramínea sp2</i> (Gramineae) - Grama	30+	02 - 05 cm	4	2	
Húmus e Serapilheira: forma fina camada em quase todo perímetro com galhos, folhas e outros matérias em decomposição						
Altitude: 807 m		Inclinação: 16 % (Ondulado)		Exposição Geográfica: Sudeste		
Clima: Tropical de altitude		Precipitação: 68 mm (Média - Balanço Hídrico-BH)		Temperatura: 23°C (Média - BH)		
Rocha-mãe: Ígnea (Domínio dos complexos granitoides deformados)		Solo: Neossolo litólico		Erosão: Inexiste		
Ação Antrópica: Criação de animais souts (bovino e equino) e acampamento de expedições para pesquisas acadêmicas.						
Dinâmica de Conjunto: Compreende uma área com vegetação preservada, com exceção das trilhas de passagens abertas para passagem de pessoas e animais criados soltos os quais não provocam pouco impacto; a ação antrópica é de pequena interferência na dinâmica local, pois essa é feita apenas na forma de acampamentos por pesquisadores, sendo essa uma atividade incipiente, que ocorre uma vez por ano ou menos; na área se identifica uma dinâmica equilibrada na qual se destaca a vegetação arbórea e arborescente de espécies endêmicas da caatinga com pequena clareira central e formação de fina serapilheira.						

Organização: A. M. S. CHAVES, 2019.

Figura 42: Pirâmide de vegetação 03.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2019.

Em uma análise de conjunto, a pirâmide 03 reflete uma dinâmica em equilíbrio, compreendendo uma área em estado de preservação, cujos impactos são a criação de animais soltos e a presença de trilhas de passagem para pessoas e animais. Os acampamentos, quando feitos, são compostos em sua maioria por pesquisadores que têm o cuidado de não impactar ou modificar muito o lugar.

Situação semelhante encontra-se o perímetro delimitado para preenchimento da ficha biogeográfica da PV 04 (Quadro 15). Essa apresenta substrato geológico semelhante a PV 03, se diferenciando por apresentar um neossolo mais desenvolvido, neossolo regolítico, e compreendendo um refúgio de vegetação de mata, conhecido como brejo de altitude.

O resultado dessa área de exceção é uma pirâmide (figura 43) que destaca espécies de floresta estacional semidecidual, compartilhando mesmo ambiente de espécies arbóreas e arbustivas da caatinga. Nesse contexto se destaca a dominância da espécie pororoca (*Chusia nemorosa*) no estrato arbóreo, o qual apresenta-se em estado de equilíbrio junto aos demais estratos, exceto o das herbáceas.

Observa-se na pirâmide 04 a área destinada à proteção, mesmo que algumas vezes se tenha a presença de animais soltos, como cavalos e bois, apresentando uma dinâmica equilibrada no geral. No entanto, por situa-se entre uma estrada que fica em uma elevação acima do seu nível e um açude abaixo, essa área recebe o material erodido da estrada e sua lixiviação até a área do açude.

Dentre as quatro pirâmides de vegetação construídas, a quarta apresenta dinâmica mais equilibrada entre seus cinco estratos arbóreos, visto que a especificidade de sua composição e interação geocológica contribuem para isso. Mas, no geral, observa-se que muitas espécies comuns são compartilhadas entre as diferentes pirâmides. O que é esperado e já constatado na literatura, bem como o fato de algumas espécies serem apenas identificadas e uma única amostra (BARBOSA, 2015; GONÇALVES; BARBOSA; PASSOS, 2015; SILVA, 2016). Essas especificidades serão discutidas no tópico de diversidade florística.

Em termos de composição florística, as pirâmides apresentam abundância e dominância por estrato, o que reflete na dinâmica da vegetação a partir de sua estrutura vertical, isso sempre considerando as interações e as dinâmicas do entorno, além dos demais componentes. A esse respeito, o estrato arbóreo está em equilíbrio nas pirâmides três e quatro, no entanto essas PV revelam interações geocológicas distintas, sendo a última um “refúgio Alto-Montana”, conhecido como brejo de altitude, enclave localizado no planalto da Borborema a mais de 900 metros de altitude.

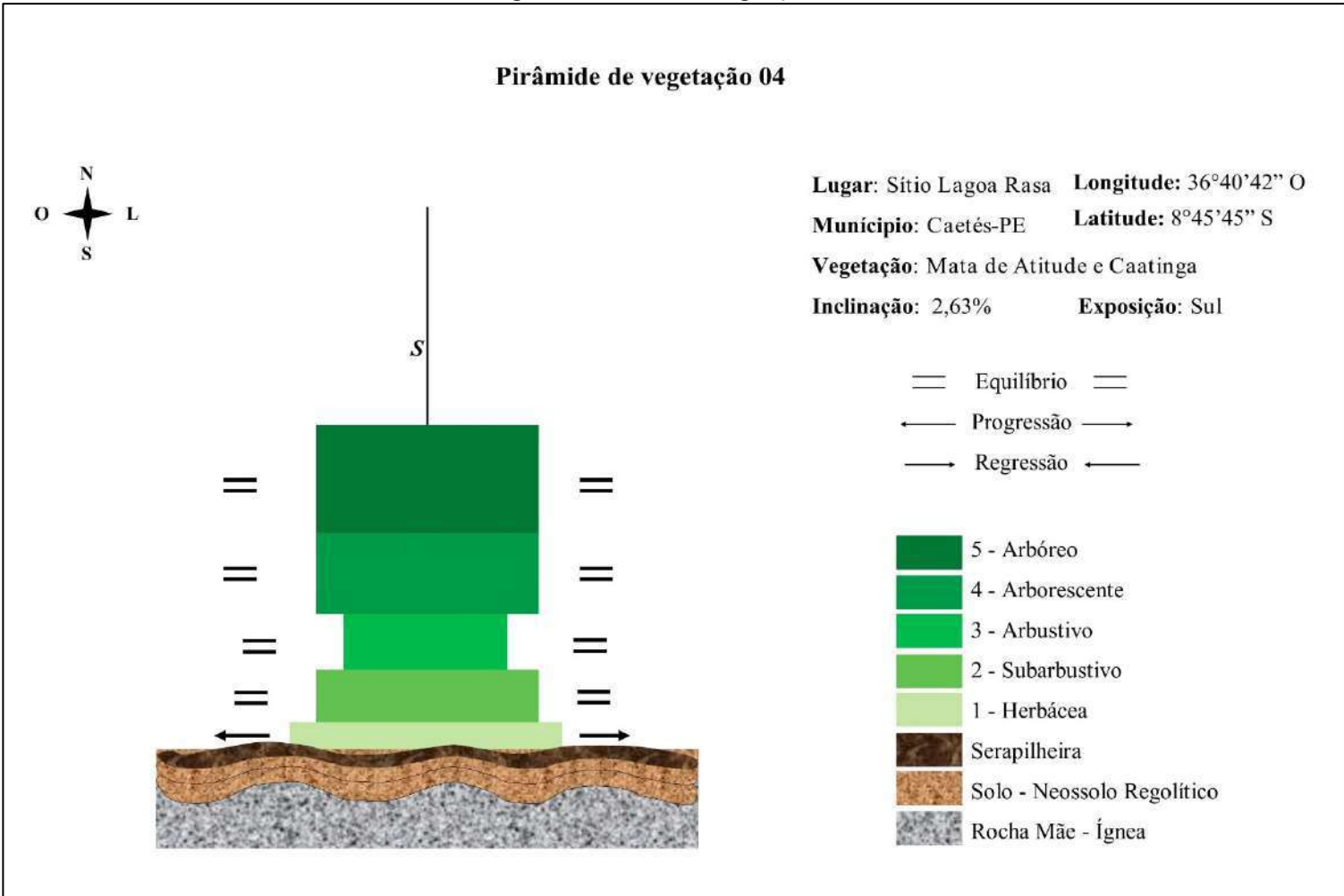


Quadro 15: Ficha biogeográfica 04.

FICHA BIOGEOGRÁFICA						
Número: 04		Formação Vegetal: Refúgio Alto-Montana (Mata de altitude)				
Região Geográfica: Sítio Lagoa Rasa		Domínio Bioclimático: Floresta Estacional Semidecidual				
Município: Caetés-PE		Série: Mata de altitude e caatinga arbórea-arbustiva				
Data: 10/05/2019		Longitude: 36°40'42" Oeste		Latitude: 8°45'45" Sul		
Espécies por Estrato		Nº de Espécies	Altura (m) Aprox.	Espécie		Estrato
Nome popular - Nome científico (família)				A / D	S	A/D - Dinâmica
Arbóreo	<i>Clusia nemorosa</i> (Guttiferae) - Pororoca	30	11 m	4	5	4 = Equilíbrio =
	<i>Hymenaea eriogyne</i> (Fabaceae) - Jatobá	2	7 m	+	1	
	<i>Syagrus coronata</i> (Arecaceae) - Ouricuri	4	7 m	+	2	
Arborescente	<i>Sp1</i> (Indeterminado) - Laranjinha	3	6 m	+	1	4 = Equilíbrio =
	<i>Mimosa tenuiflora</i> (Fabaceae) - Jurema-Preta	13	3 - 3,5 m	3	2	
	<i>Senegalia polyphylla</i> (Fabacea) - Carcará	1	3,5 m	+	1	
	<i>Sapium argutum</i> (Euphorbiaceae) - Burra-leiteira	1	4 m	+	1	
Arbustivo	<i>Psidium</i> sp (Myrtaceae) - Perim-manso	1	2,8 m	+	1	3 = Equilíbrio =
	<i>Croton zehntneri</i> (Euphorbiaceae) - Canelinha	1	2,8 m	+	1	
	<i>Croton rhamnifolius</i> (Euphorbiaceae) - Velame	30+	1,5 m	4	3	
	<i>Sida cordifolia</i> (Malvaceae) - Malva-branca	30+	1 - 1,20 m	4	3	
	<i>Capsicum parvifolium</i> (Solanaceae) - Pimenta-de-cachorro	30+	1 m	4	3	
	<i>Ageratum conyzoides</i> (Asteraceae) - Mentrasto	3	1 m	+	1	
	<i>Cereus jamacaru</i> (Cactaceae) - Mandacaru	3	1 m	+	1	
	<i>Vanillosmopsis erythropapa</i> (Asteraceae) - Candeeiro	2	1 m	+	1	
Subarbustivo	<i>Cnidioscolus urens</i> (Euphorbiaceae) - Urtiga	4	80 cm - 1 m	+	1	4 = Equilíbrio =
	<i>Varronia globosa</i> (Boraginaceae) - Moleque-duro	1	80 cm	+	1	
	<i>Senna maritana</i> (Fabaceae) - Canafistula-de-lajeiro	4	80 cm	+	1	
	<i>Mimosa modesta</i> (Fabaceae / Mimosoidea) - Malícia	30+	60 cm	3	3	
	<i>Mimosa quadrivalvis</i> (Fabaceae / Mimosoidea) - Malícia	30+	60 cm	3	3	
Herbáceo-Rasteiro	<i>Graminea</i> sp3 (Gramineae) - Grama	30+	10 cm	4	5	5 ←Progressão→
	<i>Juncus</i> L (Juncaceae) - Junco	30+	15 cm	4	5	
	<i>Lantana camara</i> L (Verbenaceae) - Chumbinho	2	30 cm	+	1	
	<i>Hohenbergia catingae</i> (Bromeliaceae) - Gravatá-comum	1	20 cm	+	1	
	<i>Graminea</i> sp4 (Gramineae) - Grama	30+	10 - 15 cm	4	5	
Húmus e Serapilheira: forma uma camada em quase todo perímetro com galhos, folhas e outros matérias em decomposição.						
Altitude: 926 m		Inclinação: 2,63% (Plano)		Exposição Geográfica: Sul		
Clima: Tropical de altitude		Precipitação: 68 mm (Média - Balanço Hídrico-BH)		Temperatura: 23°C (Média - BH)		
Rocha-mãe: Ígnea (Domínio dos complexos granitoides deformados)		Solo: Neossolo Regolítico		Erosão: Laminar		
Ação Antrópica: as vezes é colocado alguns animais soltos (bovino e equino), mas a área estar cercada para preservação.						
Dinâmica de Conjunto: Compreende uma área com vegetação bem preservada, com exceção das trilhas de passagens abertas para passagem de pessoas e animais criados soltos os quais não provocam pouco impacto, visto ser uma área cercada para proteção da vegetação que corresponde a um brejo de altitude ou floresta estacional semidecidual; a ação é quase inexistente, mas como a área é próximo a estradas, essa acaba sofrendo pequenas influências como receber sedimentos erodidos; na área se identifica uma dinâmica equilibrada na qual se destaca a vegetação arbórea e arborescente de mata de altitude e formação de serapilheira.						

Organização: A. M. S. CHAVES, 2019.

Figura 43: Pirâmide de vegetação 04.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2019.



Na pirâmide dois, o estrato arbóreo é inexistente; já na PV 01, esse encontra-se em regressão, sendo representado apenas por dois exemplares, situação semelhante foi identificada no estudo de Barbosa (2015). Porém, se destacam nesses e nas demais pirâmides os estratos arborescente e arbustivo em dinâmica equilibrada, abrangendo em quase todos mais de 50% da área do perímetro delimitado.

O estrato subarbustivo apresenta diferentes dinâmicas, sendo que o que prevalece é o estado de progressão (PV 1 e 2), regressão na PV 3 e equilibrado na pirâmide 4. Por sua vez, o estrato herbáceo apresenta estado de progressão para todas as pirâmides, pois sua dinâmica é de crescimento rápido e se encontra em um meio com condição para o aumento das espécies.

No que se trata ao substrato, as pirâmides 01 e 02, localizadas sobre a mesma rocha-mãe e tipo de solo, não formam serapilheira, possuem apenas folhas e galhos secos no chão junto a sedimentos. Já as outras duas pirâmides (03 e 04) formam fina camada de serapilheira e são sobrepostas sobre a mesma rocha-mãe, mas com formação de solo diferente, o qual é mais desenvolvido na PV 04.

As pirâmides de vegetação da bacia do Riacho São José apresentam os estratos vegetais, predominantemente, em dinâmica de equilíbrio e progressão, principalmente no tocante as espécies arborescentes e arbustivas. Contexto também verificado nas pesquisas de Barbosa (2015) e Gonçalves, Barbosa e Passos (2015) constatou-se dinâmicas similares a da BRSJ (equilíbrio e progressão). Já nos trabalhos apresentados por Silva (2016), observa-se diferentes estados, sem o predomínio de um e específico. Por sua vez, Vargas, Santos e Miola (2015) e Gonçalves e Passos (2017) identificaram principalmente a dinâmica em progressão.

Assim, é importante ressaltar que a realização da caracterização geocológica foi preponderante para poder se fazer uma análise das interações existentes entre os componentes físicos, bióticos e antrópicos que caracterizam a BRSJ e como esses interferem na estrutura vertical da vegetação. Pois, como colocado por Passos (2000) “[...] a análise de um elemento da paisagem (a vegetação) pode ser efetuada no sentido de compreender-se o elemento (as espécies vegetais) e o conjunto (a formação vegetal)”, bem como, os fatores biogeográficos que interferem na referida formação vegetal.

Por fim, com a construção das PV junto com a espacialização e classificação da vegetação pelo NDVI, têm-se aqui apresentado a estrutura horizontal e a vertical da vegetação da bacia do Riacho São José.

### 4.3 Diversidade Florística da Bacia do Riacho São José-PE

A fitogeografia do ambiente semiárido compõe uma diversidade cujas espécies são fonologicamente adaptadas às características intrínsecas da variabilidade climática, geológica, pedológica e geomorfológica. Esses aspectos definem as condições ambientais múltiplas das caatingas e áreas serranas úmidas do Agreste pernambucano.

Tais aspectos são variados na área de abrangência da bacia do Riacho São José, o que faz refletir as diferentes fisionomias da composição florística e da diversidade, fenômenos que serão abordados no presente tópico, com foco na riqueza da caatinga, ou como colocado por Ab'Sáber “Caatingas” (2003). Pois compreende tema que deve ser explorado em profundidade, revelando, por meio de índices de diversidade, uniformidade e dominância das espécies vegetais da BRSJ (FERNANDES; CARDOSO; QUEIROZ, 2019).

E como se trata de um ambiente rural antropizado, a discussão dos resultados apresentados também compreende as influências ocorridas na mudança da cobertura da terra mediante os diferentes índices mensurados, diagnosticando as áreas mais conservadas e as que estão sob maior pressão das ações antrópica.

Assim, observa-se que estudos em diferentes ambientes semiáridos têm destacado como é diversa a composição da vegetação existente por meio de análises da riqueza de espécies e índices de diversidade, entre outros parâmetros (ALCOFORADO-FILHO; SAMPAIO; RODAL, 2003; MARACAJÁ *et al.*, 2003; ANDRADE *et al.*, 2005; BARBOSA *et al.*, 2012; OLIVEIRA; COSTA, 2019).

Na BRSJ, o estudo da diversidade da vegetação é relevante diante da sua disposição espacial, a qual compreende vegetação caatinga entre áreas subúmidas, acima de 800 m de altitude do planalto da Borborema, a áreas semiáridas características da depressão do baixo São Francisco. Essa relevância se dá por entender como a riqueza de espécies varia espacialmente como um importante campo de estudo biogeográfico (GOTELLI *et al.*, 2009). Para isso, se fez uso de índices de diversidades específicos, foram eles: Índice de Diversidade Shannon, Índice de Equitabilidade/Uniformidade de Pielou e Índice de Dominância Simpson.

Em termos gerais, a diversidade de uma área, comunidade ou amostra é medida a partir da quantificação do número de espécies existentes e/ou a descrição da abundância relativa (MAGURRAN, 1988; MORENO, 2001). No caso da bacia do Riacho São José, identificou-se e contabilizou-se as espécies em quatro áreas pré-definidas (amostras) dentro de um raio de 10m (314m<sup>2</sup>), no sentido Oeste-Leste, conforme descrito na metodologia para construção das pirâmides de vegetação e dos índices de diversidade florística.

Com os dados fitogeográficos tabulados (Tabela 21), as informações obtidas por amostra foram: a riqueza de espécies ou riqueza específica (S), a qual corresponde a identificação das espécies existentes; número total de indivíduos (N); a abundância das espécies (A), que equivale a quantidade de indivíduo para cada espécie identificada em unidade; e abundância proporcional ( $p_i$ ), que compreende a relação entre  $A/N$ .

No contexto de medidas de diversidades, a riqueza específica é a mais simples de ser mensurada, no entanto, possui caráter intuitivo, embora seja utilizada com sucesso (MAGURRAN, 1988; GOTELLI; COLWELL, 2011). De acordo com Magurran (1988), quando a área de estudo é delimitada com êxito no espaço e no tempo e as espécies constituintes identificadas e quantificadas, a riqueza de espécies fornece uma medida de diversidade extremamente útil.

Nesse sentido, na bacia estudada, as amostras foram delimitadas seguindo os mesmos procedimentos e suas espécies foram identificadas e quantificadas, o que permitiu estimar S e N. De acordo com tais dados, intuitivamente pode-se dizer que a amostra 04 (AM\_04) apresenta maior riqueza (com 19 espécies), seguida por AM\_01 (com 18), AM\_03 (com 17) e AM\_02 (com 15 espécies), menor riqueza constatada.

A riqueza específica apresentada na tabela 21, embora revele que a amostra 04 intuitivamente apresenta maior diversidade, não coloca em evidência as abundâncias das espécies, ou seja, o número de indivíduos por espécies identificadas. Para isso se fez necessário a construção de diagramas: distribuição das espécies e classificação de abundância para a bacia do Riacho São José (a qual representa em ordem decrescente a distribuição da abundância por amostra).

O diagrama de distribuição das espécies (Figura 44) apresenta a divisão das espécies de acordo com o número de indivíduos representativos. Isso revela que, embora todas as amostras apresentem espécies com até 31 (AM\_01) ou 30 (AM\_02, AM\_03 e AM\_04) indivíduos, a distribuição não é homogênea ao longo da bacia, como evidencia o gráfico boxplot dos dados. Logo, observa-se que as amostras 03 e 04 compreendem espécies com menor incidência do que as amostras 01 e 02, isso se verificar pela posição do segundo quartil (linha divisória da caixa de plotagem) que representa a mediana dos valores, contendo 50% das espécies identificadas por ponto amostrado.

Tabela 21: Tabulação dos dados fitogeográfico e medida de diversidade baseado na riqueza específica da bacia do Riacho São José-PE.

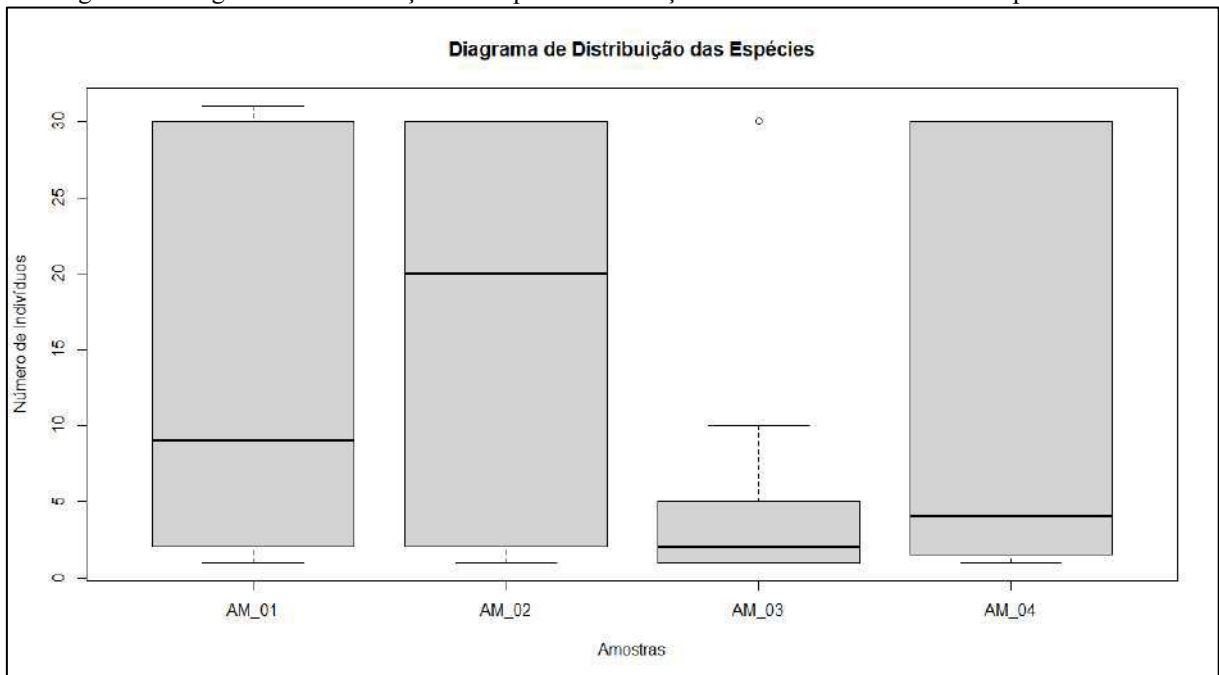
Espécie	AM_01	pi/AM_01	AM_02	pi/AM_02	AM_03	pi/AM_03	AM_04	pi/AM_04
<i>Erythrina velutina</i>	1	0,004	0	*	0	*	0	*
<i>Prosopis juliflora</i>	31	<b>0,118</b>	0	*	0	*	0	*
<i>Sideroxylon obtusifolium</i>	3	0,011	0	*	0	*	0	*
<i>Sena sp</i>	8	0,030	0	*	0	*	0	*
<i>Poincianella pyramidalis</i>	30	<b>0,114</b>	20	<b>0,067</b>	0	*	0	*
<i>Piptadenia sp</i>	2	0,008	1	0,003	1	0,014	0	*
<i>Senegalia polyphylla</i>	3	0,011	2	0,007	0	*	1	0,004
<i>Ziziphus joazeiro</i>	1	0,004	0	*	0	*	0	*
<i>Cereus jamacaru</i>	2	0,008	0	*	2	0,028	3	0,013
<i>Jatropha molissima</i>	31	0,118	30	0,101	1	0,014	0	*
<i>Tacinga palmadora</i>	10	0,038	2	0,007	0	*	0	*
<i>Sida cordifolia</i>	30	<b>0,114</b>	15	<b>0,050</b>	0	*	30	<b>0,136</b>
<i>Croton rhamnifolius</i>	31	<b>0,118</b>	30	<b>0,101</b>	0	*	30	<b>0,136</b>
<i>Pilocereus gounellei</i>	15	0,057	0	*	0	*	0	*
<i>Croton argiophylloides</i>	2	0,008	0	*	0	*	0	*
<i>Cnidioscolus urens</i>	30	<b>0,114</b>	30	<b>0,101</b>	0	*	4	0,018
<i>Tacinga inamoena</i>	30	<b>0,114</b>	30	<b>0,101</b>	0	*	0	*
<i>Pilosocereus spp</i>	1	0,004	0	*	2	0,028	0	*
<i>Amburana cecarensis</i>	0	*	1	0,003	0	*	0	*
<i>Lippia sidoides</i>	0	*	12	0,040	5	0,070	0	*
<i>Waltheria indica</i>	0	*	30	0,101	0	*	0	*
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	0	*	1	0,003	0	*	0	*
<i>Bauhinia cheilantha</i>	0	*	2	0,007	0	*	0	*
<i>Herissantia tiubae</i>	0	*	30	0,101	30	<b>0,42</b>	0	*
<i>Jatropha sp</i>	0	*	30	0,101	0	*	0	*
<i>Bromelia laciniosa</i>	0	*	30	0,101	0	*	0	*
<i>Myracrodruon uncinatum</i>	0	*	0	*	1	0,014	0	*
<i>Schinopsis brasiliensis</i>	0	*	0	*	5	0,070	0	*
<i>Mimosa tenuiflora</i>	0	*	0	*	1	0,014	13	<b>0,059</b>
<i>Libidibia ferrea</i>	0	*	0	*	1	0,014	0	*
<i>Euphorbia phosphorea</i>	0	*	0	*	1	0,014	0	*
<i>Chloroleucon dumosum</i>	0	*	0	*	7	0,098	0	*
<i>Croton tricolor</i>	0	*	0	*	3	0,042	0	*
<i>Capsicum parvifolium</i>	0	*	0	*	10	<b>0,140</b>	30	<b>0,136</b>
<i>Oxalis debilis</i>	0	*	0	*	1	0,014	0	*
<i>Clusia nemorosa</i>	0	*	0	*	0	*	30	<b>0,136</b>
<i>Hymenaea eriothyne</i>	0	*	0	*	0	*	2	0,009
<i>Syagrus coronata</i>	0	*	0	*	0	*	4	0,018
<i>Sapium argutum</i>	0	*	0	*	0	*	1	0,004
<i>Psidium sp</i>	0	*	0	*	0	*	1	0,004
<i>Croton zehntneri</i>	0	*	0	*	0	*	1	0,004
<i>Ageratum conyzoides</i>	0	*	0	*	0	*	3	0,013
<i>Vanillosmopsis erythropapa</i>	0	*	0	*	0	*	2	0,009
<i>Varonia globosa</i>	0	*	0	*	0	*	1	0,004
<i>Senna martiana</i>	0	*	0	*	0	*	4	0,018
<i>Mimosa modesta</i>	0	*	0	*	0	*	30	<b>0,136</b>
<i>Mimosa quadrivalvis</i>	0	*	0	*	0	*	30	<b>0,136</b>
<b>Número Total de Indivíduos (N)</b>	261	1	296	1	71	1	220	1
<b>Riqueza Específica / Número Total de Espécies (S)</b>	18	**	17	**	15	**	19	**

Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.

\* Ausência de espécie para o cálculo

\*\* Não mensurável

Figura 44: Diagrama de distribuição das espécies em relação ao número dos indivíduos representativos.

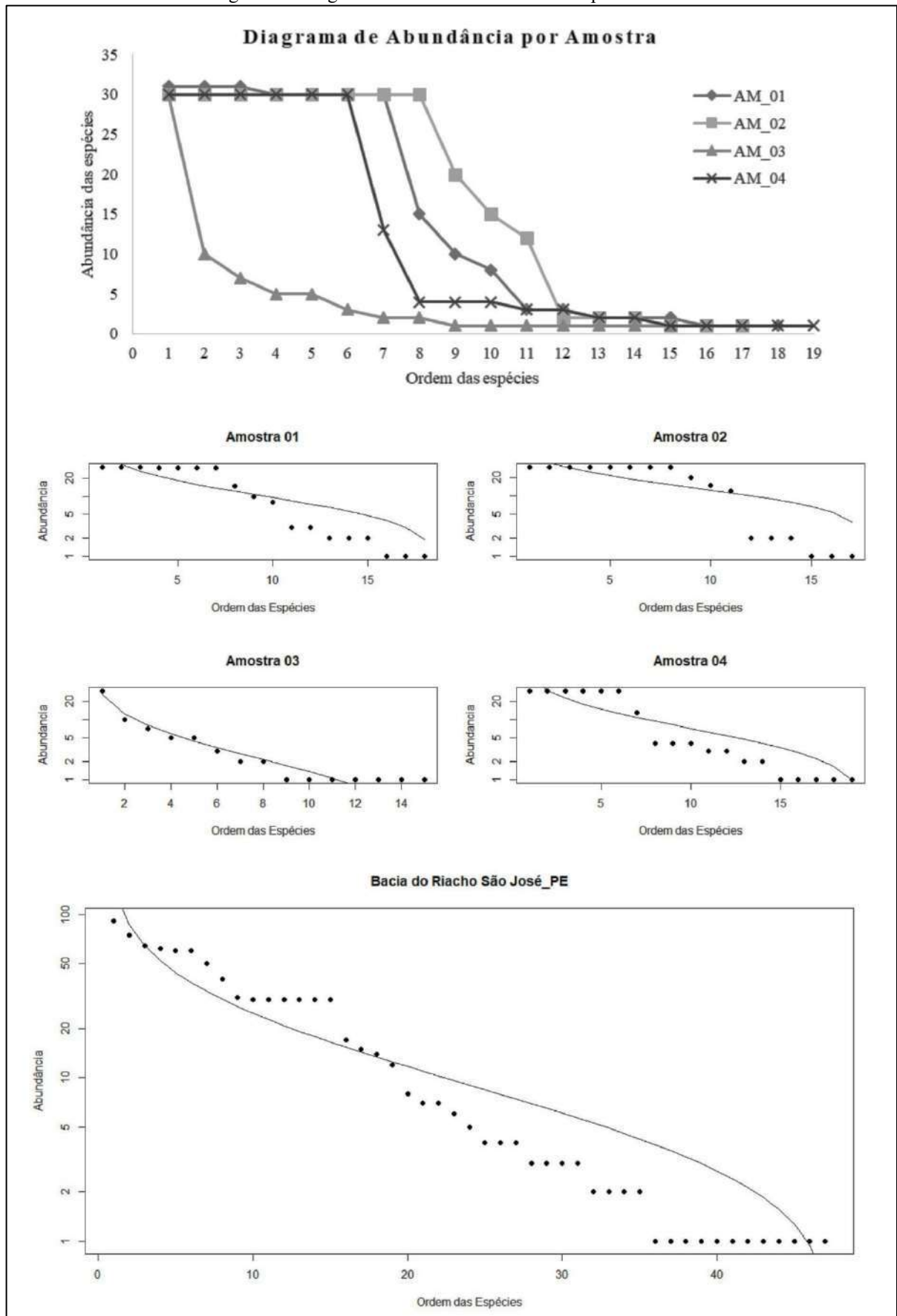


Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.

No diagrama de caixa com a distribuição das espécies, o primeiro quartil compreende 25% das espécies amostradas. Nesse contexto, todas as amostras possuem menos de 5 exemplares por espécies; já o segundo quartil (mediana e representação de 50% das espécies) apresenta variação ao longo da bacia, sendo: AM\_01 com mediana 09, o que significa que 50% das espécies possuem menos de 10 indivíduos; AM\_02 com mediana 20, possui 50% de suas espécies com 20 ou menos exemplares; AM\_03 é a amostra menos expressiva, tendo mediana 02, o que equivale a 50% das espécies representadas por 01 ou 02 indivíduos; por sua vez, AM\_04, cuja mediana é 04, possui 50% das espécies representadas por quatro ou menos.

A desigual distribuição das espécies por amostra revela a diferente composição da abundância, ou seja, enquanto poucas espécies são abundantes, atingindo próximo de 30 e 31 exemplares, a maioria das espécies ficam abaixo de 20, 10 e 5 indivíduos. Esses dados são representados no diagrama de abundância das espécies por meio de curvas de dominância (Figura 45), método gráfico recomendado no estudo da diversidade por permitir visualizar a distribuição das espécies em ordem decrescente das dominantes para as raras (SMITH; WILSON, 1996; MAGURRAN, 2004; RICOTTA, 2005; MCGILL *et al.*, 2007; MELO, 2008).

Figura 45: Diagramas de curvas de dominância por amostra.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.

Nesse sentido, o diagrama de abundância pode ser construído a partir de diferentes medidas de abundância, ou seja, a própria abundância em unidades descritiva, relativa, proporcional ou porcentagem (MAGURRAN, 2004; MCGILL *et al.*, 2007). Aqui adotou-se a abundância em unidade por ser autoexplicativa, sendo o primeiro conjunto estimado (criado) diretamente do *excel* e as curvas individuais por amostra plotadas no *software* estatístico R com base log natural.

As curvas formadas no diagrama representam duas variáveis: riqueza pelo comprimento da linha e uniformidade pela sua inclinação (SMITH; WILSON, 1996; MELO, 2008). Assim, quanto mais uniforme e longa a curva for, maior será a diversidade e uniformidade entre a abundância das espécies (MAGURRAN, 2004; MELO, 2008). De acordo com Ricotta (2003), a alta diversidade é proporcional a alta riqueza de espécies e uniformidade.

Dadas as explicações necessárias para interpretação das curvas de dominância, observa-se que as AM\_01, AM\_02 e AM\_04 apresentam padrão similar na formação das curvas, o que confere melhor distribuição das espécies perante a inclinação rasa. Já a AM\_03 apresenta maior profundidade na curva, o que resulta em menor abundância.

Vale ressaltar que a distribuição da abundância também permite aferir a proporção das espécies (MCGILL *et al.*, 2007) por amostra. Isso significa que a curva da amostra 02 revela maior proporção para espécies abundantes, pois é mais uniforme. As AM\_01 e AM\_04 apresentam uma incidência proporcional entre espécies raras e abundantes e a AM\_03 possui abundância caracterizada por espécies raras predominantemente.

Em contexto geral, o diagrama de classificação de abundância para a bacia do Riacho São José, considerando as quatro amostras em um único conjunto de dados, apresenta uma curva intermediária, tendo seu começo similar a AM\_03 e seu final conforme a curva da amostra 04, isso se deve ao predomínio de espécies raras (abaixo de 10 exemplares) e dominância de poucas espécies (acima de 60 unidades representativas). Observa-se também que existe uma estabilidade linear em espécies comuns com 30 indivíduos.

A diferença nas curvaturas dos diagramas se deve às distintas proporções da composição florística, pois ora tem-se um conjunto de espécies abundantes e ora de espécies raras. Sendo o termo “rara” equivalente a espécies com menor incidência (MAGURRAN, 2004), aqui representada por espécies com menos de 10 indivíduos. É válido frisar que uma ou duas espécies tendem a dominarem, enquanto as demais são infrequentes ou raras, (MAGURRAN, 2004; MCGILL *et al.*, 2007; GOTELLI *et al.*, 2009).



McGill *et al.* (2007) observam que, em diferentes pontos amostrados, com frequência uma espécie rara se torna abundante ou uma espécie abundante se torna rara, situação que se constata ao analisar composições florísticas da BRSJ, considerando os gradientes ambientais.

Assim, tem-se os seguintes casos verificados (conforme apresentado na tabela 20): a espécie *Jatropha molissima* apresenta abundâncias máximas para as AM\_01 e AM\_02, 31 e 30 indivíduos, respectivamente, e raridade para a AM\_03 com 1 exemplar; *Cnidoscolus urens* apresenta grande dominância para as amostras 01 e 02, com 30 indivíduos para ambas e entra no contexto de raridade para a AM\_04, com 4 exemplares; *Capsicum parvifolium* é abundância máxima para AM\_04 e raridade para a amostra 03 com 10 unidades representativas.

As amostras 01 e 02 apresentam semelhanças na composição florística com abundâncias proporcionais elevadas para espécies comuns, a exemplo da *Poincianella pyramidalis*, *Sida cordifolia*, *Croton rhaminifolius*, *Cnidoscolus urens* e *Tacinga inamoena*. Situação decorrente da localização geográfica e de condições ambientais semelhantes, pois ambos os pontos de amostragem se encontram na posição sotavento da depressão do baixo São Francisco.

Já as amostras 03 e 04 apresentam maior diferença na composição florística e abundância proporcional, isso também se justifica pelo diferencial geográfico e pelas condições ambientais. Enquanto a AM\_04 está sobre a parte alta do planalto da Borborema acima de 900m de altitude, a AM\_03 compreende descida do vale em altitude de 807m.

A classificação da abundância em diagramas compreende método eficaz para ilustrar mudanças na diversidade em relação a modificações (perturbações) ambientais, por esse motivo é importante conhecer os fatores geográficos e ambientais do ambiente escolhido para as amostragens, pois eles condicionam a diversidade florística existente (MAGURRAN, 1988; 2004; BOHRER, 1998; MCGILL *et al.*, 2007; GOTELLI *et al.*, 2009).

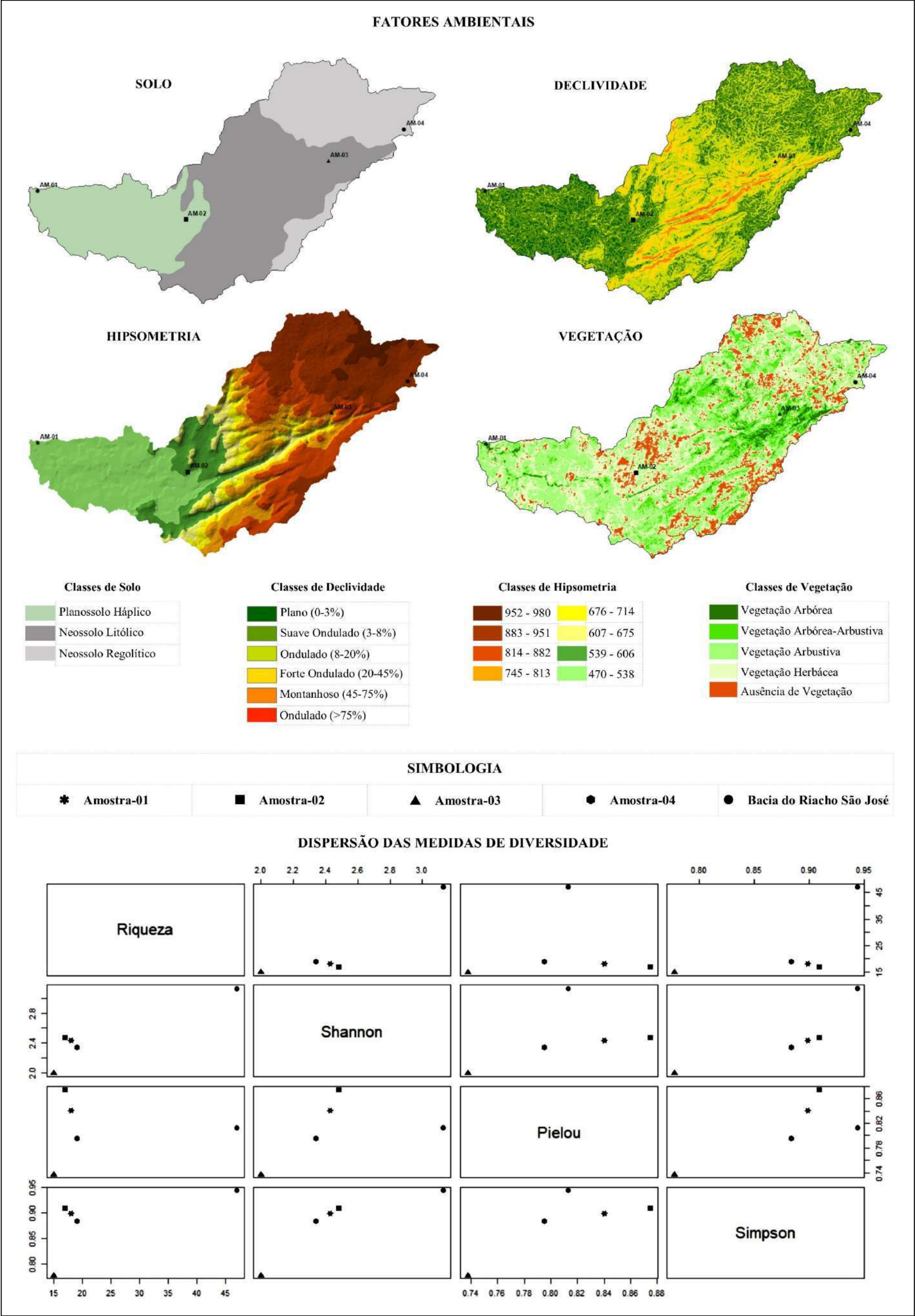
Nesse sentido, para a bacia do Riacho São José, observou-se que a dispersão das medidas de diversidade, índices de diversidade Shannon, Uniformidade de Pielou e Dominância Simpson (tabela 22) sofrem influência das variáveis geográficas e ambientais sobre as quais as amostras estão localizadas, com destaque as classes de solo, declividade do terreno e gradiente altimétrico (Figura 46).

Tabela 22: Medidas de diversidade florística na Bacia do Riacho São José-PE.

	Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03	Amostra 04	Total
Diversidade Shannon - 'H	2.43	2.48	2.00	2.34	3.13
Uniformidade de Pielou – J'	0.84	0.87	0.74	0.80	0.81
Dominância Simpson - D	0.90	0.91	0.78	0.88	0.94

Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.

Figura 46: Variáveis ambientais que caracterizam a dispersão das medidas de diversidade para a bacia do Riacho São José-PE.



No que diz respeito aos índices de diversidade, uniformidade e dominância, estes corroboram para definir as amostras 02 e 01 como as que apresentam composição florística mais diversas, bem como indicam a AM\_03 com menor diversidade, conforme apresentado na dispersão dessas medidas.

Relacionando a variação dos índices mensurados com a localização geográfica e os fatores ambientais associados, verificou-se que as amostras com maior diversidade, uniformidade e dominância estão sobre a mesma classe de solo, o planossolo háplico, declividade plana e cotas altimétricas abaixo de 600 metros.

As composições florísticas das AM\_02 e AM\_01 também são as mais similares, com predomínio das fitofisionomias arborescentes e arbustivas, sendo que na área delimitada da amostra 02 não houve registro de espécies arbóreas com altura acima de sete metros (as especificidades da estrutura vertical da flora da BRSJ encontram-se no tópico anterior sobre as pirâmides de vegetação).

Na amostra 03, onde constatou-se as menores medidas mensuradas, as variáveis ambientais são distintas das demais amostras, estando sobre encosta com declividade ondulada em neossolo litólico, altimetria acima de 800 metros e fitofisionomia arbórea e arborescente predominantes. Também, nessa amostra localizada em descida de vale, a vegetação encontra-se mais conservada, porém a riqueza e a abundância das espécies constatadas são as menores.

Por sua vez, a quarta amostra é a terceira mais diversa e está localizada em ambiente de “brejo de altitude” acima de 900 metros, configura variáveis ambientais distintas das outras amostras, com exceção da declividade plana, similar às AM\_01 e AM\_02. Assim, sobre o neossolo regolítico predominam as fitofisionomias arbóreas, arborescentes e arbustivas, com presença de espécies de floresta estacional semidecidual, a exemplo da *Hymenaea courbaril* (jatobá) e *Clusia nemorosa* (Pororoca).

Em um contexto global, considerando todas as espécies identificadas e contabilizadas na BRSJ (soma das quatro amostras), constatou-se que os índices de diversidade Shannon e Dominância Simpson são mais elevados do que os valores estimados por amostra. No entanto, o índice de uniformidade de Pielou é inferior ao das amostras 01 e 02, o que reflete o grande contraste na abundância das espécies da bacia.

Considerando as medidas de diversidade mensuradas para a BRSJ, observa-se que o índice de diversidade Shannon é mais aceito e utilizado na literatura (MAGURRAN, 1988; 2004; MORENO, 2001; RICOTTA, 2005; MELO, 2008). Por sua vez, em ambiente de caatinga, estudos vêm revelando que os índices variam entre 0,86 a 3,26 (BARBOSA *et al.*,

2012), ou seja, de baixa a alta diversidade, pois os valores de diversidade Shannon tendem a ficar entre 1,5 e 3,5 (MARGALEF, 1972 apud MAGURRAN, 1988).

Vale frisar que estudos sobre a diversidade florística em ambiente semiárido demonstram que, devido ao histórico de perturbação, os índices têm se revelado baixos, não chegando a atingir o valor  $H'$  de 02 (CALIXTO JÚNIOR; DRUMOND, 2011; ALVES JUNIOR *et al.*, 2013; HOLANDA *et al.*, 2015). Situação não ocorrida na bacia estudada porque a escolha dos pontos amostrais levou em consideração áreas onde a vegetação mostrou-se estável nos últimos 30 anos, conforme procedimento proposto por Chaves e Melo & Souza (2019).

Sabe-se que o índice Shannon para a BRSJ é de 3,13, conferindo ambiente com boa diversidade e apresenta-se superior ao verificado na literatura. Mas, ao analisar os dados por amostras, verificou-se variação entre 2,00 na AM\_03 a 2,48 para AM\_02, o que confere valores semelhantes ao já constatado na literatura para outras áreas semiáridas, como constatado por Alcoforado-Filho *et al.* (2003), Silva (2009); Barbosa *et al.* (2012), Alves Junior *et al.* (2013) e Marangon *et al.* (2013).

A exemplo, Barbosa *et al.* (2012) estimaram a diversidade  $H'$  de um fragmento de caatinga inserido no Planalto da Borborema com variação altimétrica entre 650 e 1.000 metros, condições semelhantes ao da bacia do Riacho São José, constatando valor de 2,05 (próximo ao verificado na AM\_03 da BRSJ). Já Alcoforado-Filho *et al.* (2003), ao estudarem um remanescente de vegetação caducifólia espinhosa arbórea em Caruaru-PE, constataram diversidade Shannon de 3,09, valor aproximado ao de 3,13 verificado na área total da BRSJ.

Diante dessas variações, é importante esclarecer que os índices de diversidade tendem a aumentar com o esforço da amostragem (MAGURRAN, 1988; 2004; MCGILL *et al.*, 2007; GOTELLI *et al.*, 2009. Em vista disso, ao alargar o tamanho das amostras ou considerar todas as espécies vegetais da área pesquisada os índices mensurados serão mais expressivos.

Sobre isso, em um levantamento da flora de angiospermas existente no vale do Riacho São José, Vieira *et al.* (2017) identificaram 171 espécies e 45 famílias, o que revela a possibilidade do índice Shannon atingir o valor acima de 4,5, tido como exceção e só possível de ocorrer quando se constata mais de 105 espécies (MAY, 1975 apud MAGURRAN, 1988). No entanto, a quantificação da abundância das espécies exige um esforço considerado impossível para uma área com mais de 100Km<sup>2</sup>, pois a maioria dos índices precisam da identificação e quantificação das espécies.

O segundo índice mensurado foi a uniformidade de Pielou, medida que varia entre 0 e 1, em que zero (0) representa desproporcionalidade na abundância e um (1) confere situação

em que todas as espécies são igualmente abundantes (MAGURRAN, 1988), logo, quanto mais próximo ao valor 1, maior a uniformidade das amostras.

Para a bacia do Riacho São José, a uniformidade geral foi de 0,81, o que significa dizer que ela apresenta boa equabilidade na distribuição de indivíduos por espécies. Já na análise por amostra, a uniformidade variou entre 0,74 para AM\_03 e 0,87 na AM\_02. Por sua vez, as amostras 01 e 04 apresentaram, respectivamente, 0,84 e 0,80.

Apesar da variação da uniformidade entre as amostras, os valores são representativos, pois outros estudos sobre a flora semiárida apresentam equitabilidade abaixo de 0,70 ou entre 0,71 e 0,79, poucos ultrapassam o valor de 0,80 (CESTARO; SOARES, 2004; CALIXTO JÚNIOR; DRUMOND, 2011; BARBOSA *et al.*, 2012; ALVES JUNIOR *et al.*, 2013; HOLANDA *et al.*, 2015; SABINO; CUNHA; SANTANA, 2016). Nesse sentido, observa-se uma boa uniformidade para a BRSJ.

No tocante a dominância de Simpson (D), poucos estudos têm explorado essa medida para o ambiente semiárido, isso se deve à falta de sua popularidade em relação a diversidade H' e uniformidade J', embora seja tido como um parâmetro robusto (MAGURRAN, 1988; 2004) que corrobora na análise da diversidade junto às demais medidas realizadas.

Para a bacia do Riacho São José, o índice de dominância (D) é de 0,94. Por amostra, os valores corroboram com Diversidade Shannon e Uniformidade de Pielou, pois indicam a mesma sequência de importância das amostras: variação de 0,78 para AM\_03 a 0,91 na AM\_02. Em relação a outros estudos no semiárido, os resultados constatados são próximos ao verificado na literatura (SILVA, 2009; ALVES JUNIOR *et al.*, 2013; e MARANGON *et al.*, 2013).

Alves Junior *et al.* (2013) e Marangon *et al.* (2013), em estudos realizados no município de Floresta-PE, estimaram dominância de 0,77 e 0,84, próximo ao verificada na AM\_03 e AM\_04 da BRSJ. Por sua vez, Silva (2009) aferiu dominância de 0,86 e 0,88 para a região Agreste de Pernambuco, valores similares às amostras 01 e 02 da Bacia estudada nessa pesquisa.

Diante dos dados apresentados, observa-se que a análise da diversidade, uniformidade e dominância corroboram entre si, indicando que a BRSJ apresenta uma boa diversidade fitogeográfica, embora os valores variem espacialmente em contraste com as condições ambientais. Mas, quando comparado a outros estudos em ambiente de caatinga, os índices gerais da bacia estão entre os mais elevados, acima de 3 para Shannon, 0,80 em uniformidade e dominância de 0,94, revelando relação de equilíbrio entre riqueza e abundância das espécies identificadas e quantificadas.

Vale lembrar que as medidas de diversidade também permitem avaliar a perda de espécies e o potencial de conservação dos ambientes amostrados (DIAS, 2020). Nesse contexto, observou-se na BRSJ que a diversidade reflete os fatores ambientais e geográficos, o que não significa que a amostra 03, por apresentar menor diversidade, seja a menos conservada; pelo contrário, sua localização compreende uma das porções mais conservadas do médio curso, isso por compreender encosta de vale com declividade ondulada sobre neossolo litólico, o que restringe o desenvolvimento de usos antrópicos.

Já as amostras 02 e 01, apesar de apresentarem os melhores índices mensurados, estão mais susceptíveis a usos antrópicos, pois apresentam características ambientais favoráveis a utilização humana. No entanto, a localização geográfica compreende uma área pouco habitada e com restrições hídricas por estar a sotavento do planalto da Borborema.

Situação contrária se constata na AM\_04, que além estar em uma localização geográfica de fácil acesso e povoada sobre o planalto da Borborema, as médias pluviométricas são mais bem distribuídas ao longo dos anos e os fatores ambientais são favoráveis ao desenvolvimento de atividades antrópicas, denotando área que sofre maior pressão de uso. Porém, devido a laços afetivos com o lugar, o proprietário optou por manter a área conservada.

Em vista disso, nos contextos apresentados, depreende-se que as medidas de diversidade podem ser tidas como indicadoras que reforçam a importância da BRSJ enquanto área para conservação de representativas fitofisionomias do ambiente semiárido no Agreste pernambucano. Para isso, é necessário um planejamento ambiental conservacionista que considere as potencialidades e as limitações paisagísticas do território.

Assim, diante das diferentes métricas para estimar a diversidade florística de uma área (na impossibilidade de realizar mais de uma) observando os parâmetros e as suas aplicabilidades, deve-se priorizar os dados de riqueza, a abundância das espécies, (pois deles dependem a maioria dos cálculos de diversidade) e escolher a medida que apresentar maior relação com essas informações. Nesse sentido, foi feito o diagrama de coeficiente de correlação entre as medidas de riqueza, diversidade  $H'$ , uniformidade  $J'$  e Dominância Simpson (Figura 47), conforme método de Pearson, para saber quais apresentam maior correlação com a riqueza.

De modo geral, o coeficiente de correlação mede o grau de relacionamento e a direção linear entre as variáveis no intervalo entre -1 a +1. Assim, quando as variáveis apresentarem valor -1 ou próximo a esse, as correlações negativas são fortes; se forem +1 ou próximo a esse, tem-se correlações positivas fortes; já valores 0 ou próximo a esse valor, apresentam ausência ou baixa correlação (ROGERSON, 2012).

Assim, dadas as possibilidades de correlação para a BRSJ, os valores indicaram correlações positivas entre todas as medidas estimadas. Sendo a relação mais forte a existente entre a riqueza de espécies e o índice de diversidade H' com coeficiente de 0,92, o que permite entender que H' é o melhor índice para indicar a diversidade da bacia estudada.

Figura 47. Diagrama de correlação das medidas de diversidade da Bacia do Riacho São José-PE.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.

Pode-se dizer que a riqueza apresenta correlações positivas com as outras medidas de diversidade, sendo considerada moderada com a dominância Simpson, cujo coeficiente é de 0,61; muito baixa com a uniformidade ao apresentar correlação de 0,06. A diversidade H' apresenta correlação elevada de 0,87 com a D e correlação baixa de 0,44 com a uniformidade. Por sua vez, a dominância apresenta correlação moderada a elevada com todas as medidas.

Por fim, diante das métricas e das relações observadas, acredita-se que a dinâmica fitogeográfica da BRSJ foi compreendida em sua totalidade, não por se ter quantificado e identificado todas as espécies existentes (isso está fora do alcance dessa pesquisa), porém bem adiantado no trabalho de Vieira *et al* (2017) como um levantamento florístico da área,; mas, por ter realizado uma análise espacial, temporal, estrutural das fitofisionomias e ter estimado a diversidade da bacia e as suas interações com o meio geográfico, ou seja, entendendo como as partes interagem na unidade do todo, em que cada uma exerce função colaborativa e essencial.



---

## **CAPÍTULO V**

### **APROPRIAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO DA NATUREZA: ENTRE O SISTEMA TERRITORIAL E A PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS**

---

## 5 APROPRIAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO DA NATUREZA: ENTRE O SISTEMA TERRITORIAL E A PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS

A paisagem reflete a configuração do sistema territorial decorrente da ação humana no processo de apropriação e transformação da natureza, em dinâmica constante (seja pelos fatores naturais ou pelas relações sociais) sobre a superfície terrestre, resultando em padrões e mudanças na cobertura e apropriação da terra.

Nesse sentido, entende-se aqui que os modos de apropriação e a cobertura da Terra compreendem pontos de conexão entre a paisagem e o território, pois as territorialidades caracterizam especificidades das paisagens cada vez mais alteradas. Assim, o presente capítulo faz uma discussão sobre os padrões e as mudanças ocorridas na superfície da bacia do Riacho São José (em um período de trinta anos, de 1985 a 2015) e traz em destaque a relação entre o sistema territorial e a prestação dos serviços ecossistêmicos.

Por ser um ambiente semiárido, delineado entre o planalto da Borborema e a depressão do baixo São Francisco, naturalmente compreende especificidades em sua dinâmica físico-natural e socioambiental decorrentes principalmente das interações geoecológicas sobre o território, com destaque para os condicionantes climáticos locais (verão prolongado e quente e inverno curto e precipitações escarças mal distribuídas), na relação barlavento e sotavento.

No decurso desses processos se manifestam diferentes territorialidades na superfície da BRSJ, as quais permitem identificar a dinâmica nos padrões e as mudanças ocorridas ao longo do tempo e do espaço. Tais padrões sucedem de acordo com a prestação de alguns serviços ecossistêmicos locais.

Para tanto, estudos envolvendo a cobertura e os usos da terra no ambiente semiárido, a partir de imagem de satélites, mostram algumas especificidades no tocante a relação solo-relevo-vegetação (OLIVEIRA; GALVÍNCIO, 2011; BATISTA; SANTOS, 2011; ASSIS *et al.*, 2012; COELHO, *et al.*, 2014; ACCIOLY *et al.* 2016). Vale salientar que esses aspectos influenciam nas mudanças e nos padrões identificados ao longo de análises espaço-temporais.

Assim sendo, de acordo com estudos sobre essa temática, Anderson *et al.* (1976) destacam que mudanças na cobertura da terra ocorrem devido ao fato de os padrões de uso e a demanda de recursos naturais variarem constantemente ao longo da história humana na Terra. Vale destacar que atualmente entende-se que a superfície terrestre passou e passa por mudanças impostas e impressas pela ação antrópica, inclusive o ambiente semiárido. No entanto, esse último, devido as suas peculiaridades ambientais, vem sendo negligenciado ao longo do tempo,

mesmo o semiárido sendo o detentor do domínio da caatinga (exclusividade do Brasil), pouco tem se conservado nessa região (MMA, 2019).

A esse respeito, estudos sobre padrões e mudanças nos modos de cobertura e apropriação da terra são tidos como pré-requisitos básicos para análise e diagnóstico desses ambientes, além de revelar como o sistema territorial e as dinâmicas territoriais estão organizados. Sobre isso, de início é importante esclarecer que, conceitualmente, cobertura e uso apresentam entendimentos distintos, pois a cobertura refere-se aos componentes naturais ou artificiais que recobrem a superfície terrestre (áreas vegetadas, hidrografia e áreas construídas); já o uso da terra compreende as atividades antrópicas feitas sobre a Terra e sua cobertura natural (ANDERSON *et al.*, 1976).

Nesse entendimento, a bacia do Riacho de São José compreende um sistema territorial sobre o qual faz-se refletir relações complexas que envolvem o quadro natural e o contexto social, econômico e político. Isso, principalmente, por se tratar de um ambiente delimitado entre dois municípios e limitada por outros dois.

Vale frisar que as relações que destacam a aptidão natural dos ecossistemas que compõem o ambiente semiárido (domínio da caatinga), integrando a vegetação e a fauna com funções ecológicas e valor de uso pelo homem. Desse modo, uma vez que a natureza é (vegetação, fauna, solo, geologia, água, vento) modificada e utilizada pelo homem, ela passa a prestar serviços, os quais são entendidos como “Serviços Ecossistêmicos” (SE).

Na literatura, estudos relacionados aos serviços ecossistêmicos sugeriram da preocupação com o meio ambiente, as funções ambientais e ecológicas diante das mudanças e com os impactos provocados pelo modo de vida humano devido aos usos desenfreados dos recursos naturais. Em decorrência disso, surgiu a Avaliação do Milênio (AM) para os ecossistemas, destacando que a demanda por bens e serviços ecossistêmicos (como alimentos e água potável) vêm crescendo. Em contrapartida, as ações humanas estão diminuindo a capacidade de muitos ecossistemas em suas funções ambientais e ecológicas de atender tais demandas. (ALCAMO, *et al.*, 2003).

Por conta disso, a Avaliação do Milênio para os Ecossistemas envolveu governos, setores privados, organizações não-governamentais e cientistas com a finalidade de fornecer uma avaliação integrada das consequências geradas pelas mudanças provocadas nos ecossistemas, e, nesse âmbito, analisar as possíveis opções que venham melhorar a conservação dos ecossistemas e das suas atividades (ALCAMO, *et al.*, 2003).

A esse respeito, em 2013, foi publicado a Classificação Internacional Comum de Serviços Ecossistêmicos (CICES, 4.3), referência que teve como ponto de partida a Avaliação

do Milênio organizada com finalidade de ajudar estudos e pesquisas voltadas a medir, contabilizar e avaliar os SE prestados. Para tanto, a CICES foi “desenvolvida no contexto do trabalho no Sistema de Contabilidade Econômica e Ambiental, liderado pela Divisão de Estatística das Nações Unidas”, sendo largamente utilizada em pesquisas sobre os SE, a exemplo: identificação de SE, elaboração de indicadores, mapeamento e avaliação dos SE (HAINES-YOUNG, 2016, p. 1; HAINES-YOUNG; POTSCHIN, 2018, p. 1).

Em 2016, Haines-Young realizou uma pesquisa com a finalidade de melhorar a CICES 4.3, para isso, foi aplicado 327 questionários aos usuários, com a finalidade de saber as experiências vivenciadas e identificar onde estão os seus pontos fortes e fracos. Os resultados da pesquisa (realizada para a Agência Europeia do Ambiente (AEA), junto as contribuições de dois workshops organizados no Projeto ESMERALDA, financiado pela UE ([www.esmeralda-project.eu](http://www.esmeralda-project.eu))) permitiram realizar uma revisão da CICES 4.3 e a publicação da nova versão, CICES 5.1, em 2018 (HAINES-YOUNG; POTSCHIN, 2018).

Em termos conceituais, a AM e a CICES apresentam definições similares. A primeira compreende os SE como “[...] benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas [...]”, incluindo serviços de provisionamento, regulação, manutenção e culturais (ALCAMO, *et al*, 2003). Já a CICES, Haines-Young e Potschin (2018) definem os serviços ecossistêmicos como contribuições providas dos ecossistemas para o bem-estar humano, sendo distintos dos bens e benefícios derivados.

É válido mencionar que existem diversos conceitos sobre os SE, alguns ligados a áreas específicas do conhecimento científico, como Economia, Ecologia, Biologia, Recursos Naturais, entre outros. A esse respeito, Alcamo *et al.* (2003), os relatórios da Avaliação do Milênio (2005), Burrett (2008) e os trabalhos de Santos (2018) e Oliveira (2019) abordam essa diversidade conceitual.

Assim, de acordo com o exposto, fica evidente que entender a dinâmica caracterizadora da cobertura e os modos e apropriação atuais da bacia do Riacho São José demandam uma exposição sobre aspectos políticos e administrativos, os quais estão ligadas às questões sobre a população, bem como às questões inerentes a dinâmica natural de cunho ecológico.

Nesse contexto, a discussão apresentada nesse capítulo compreende os aspectos territoriais das questões políticas e administrativas; traz a conjuntura da cobertura e apropriação da terra em um recorte espaço-temporal de 30 anos; colocar em destaque a relação do sistema territorial (padrões de usos e elementos contidos) com a prestação de serviços ecossistêmicos derivados das classes de cobertura da terra.

### 5.1 Contexto Político Administrativo da Bacia do Riacho São José-PE

A bacia do Riacho São José, politicamente, faz parte de quatro municípios da Região Agreste Pernambucana, sendo que territorialmente as maiores proporções ficam entre Caetés e Pedra, enquanto Venturosa e Paranatama compreendem limites e pequenas áreas (Figura 48). Regionalmente, a bacia faz parte da microrregião de Garanhuns (nos municípios de Caetés, Paranatama e Venturosa), no alto e médio curso e da microrregião do Vale do Ipanema, (representada pela zona rural de Pedra na área dos distritos de São Pedro Cordeiro e Santo Antônio) no baixo curso.

Diante da configuração política-administrativa, coube destacar o percentual territorial que compreende a BRSJ em cada município pertencente, pois dessa forma pôde-se evidenciar aqueles que recebem as porções em extensão na bacia hidrográfica. A relação segue completa na tabela 23, em que Caetés compreende maior proporção, 76,95 % da bacia, a qual corresponde 34,23% de sua área territorial; seguida por Pedra e Paranatama com, respectivamente, 16,50 % e 6,55 %. Como Pedra possui a maior extensão municipal em comparação aos demais, a BRSJ ocupa aproximadamente 3% de seu território, já referente a Paranatama a extensão ocupada pela bacia é de 4,16%.

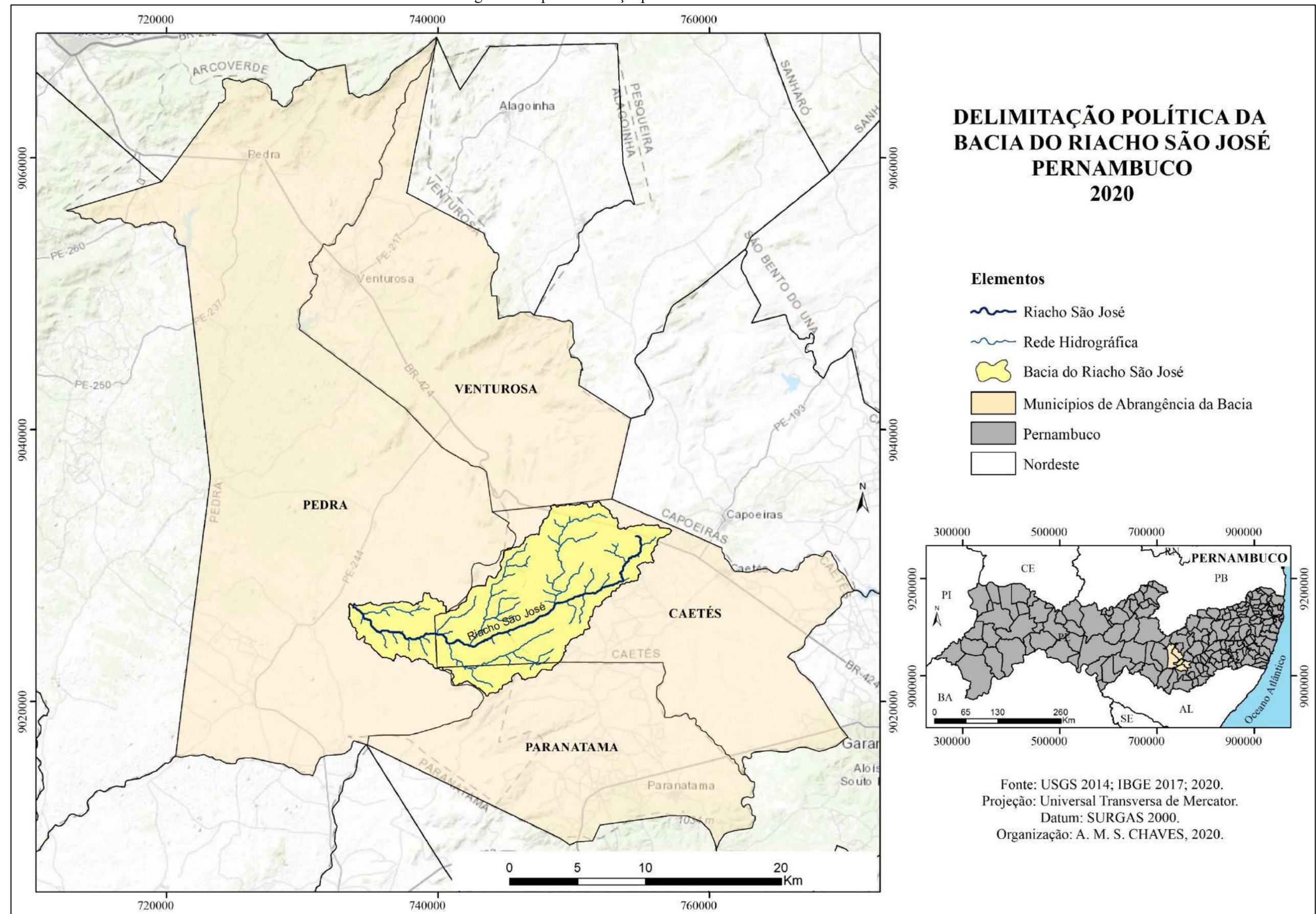
Tabela 23: Divisão político-administrativa da bacia do Riacho São José-PE.

<b>Distribuição Territorial da Bacia do Riacho São José por Município Pernambucanos</b>				
<b>Municípios</b>	<b>Área do Município (Km²)</b>	<b>Área da Bacia (Km²)</b>	<b>Área da Bacia (%)</b>	<b>Área da Bacia em relação ao Mun. (%)</b>
<b>Caetés</b>	329,75	112,89	76,95 %	34,23 %
<b>Pedra</b>	803,63	24,20	16,50 %	3,01 %
<b>Paranatama</b>	231,06	9,60	6,55 %	4,16 %
<b>Venturosa</b>	320,94	0,01	0,01 %	0,00 %
<b>Total</b>	1685,38	146,70	100,00 %	8,70 %

Fonte: IBGE, 2010. Organização: A. M. S. CHAVES, 2019.

O território da BRSJ está dividido em áreas menores, retratadas em dez setores censitários (Figura 49), os quais são utilizados nos levantamentos de dados do IBGE, cuja finalidade é coletar informações e traçar o perfil da sociedade. O delineamento desses setores segue diferentes alcances territoriais e critérios distintos da delimitação da bacia, que toma como referência os aspectos físico-naturais e divisores d'água, mas permitem acessar informações alusivas aos domicílios, à população residente na área da Bacia e no entorno.

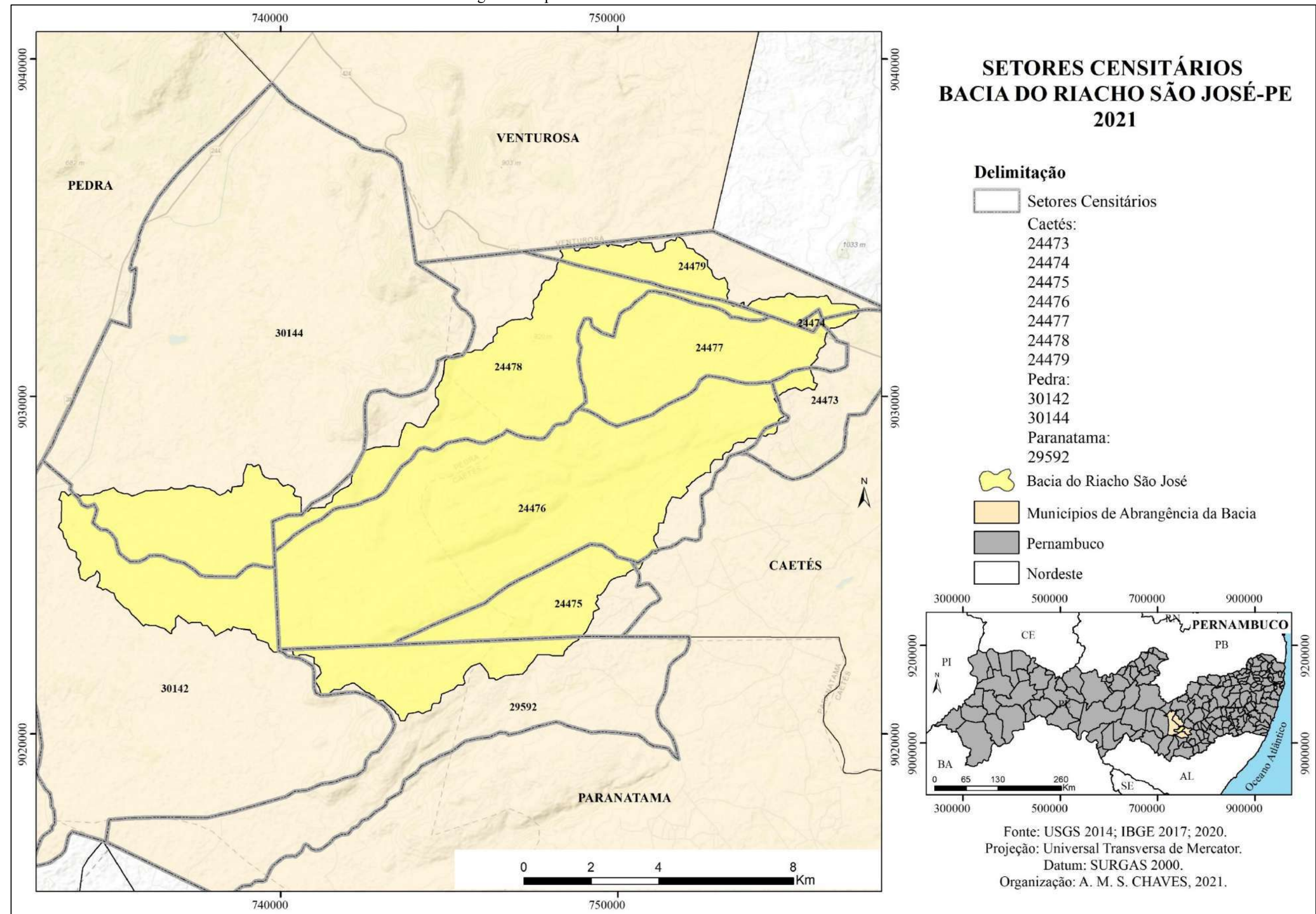
Figura 48: Mapa de delimitação política da bacia do Riacho São José-PE.



Elaboração: A. M. S. CHAVES, 2020.



Figura 49: Mapa de setores censitários da bacia do Riacho São José-PE.



Elaboração: A. M. S. CHAVES, 2021.



Cabe mencionar que há presença dos setores censitários pertencentes, em sua totalidade ou parcialmente, na área da bacia, compreendendo três municípios: sete inseridos na área territorial de Caetés, dois em Pedra e um em Paranatama. Devido à pouca expressão territorial no município de Venturosa, menos de 0,01% da área da BRSJ, não foram obtidas informações.

A partir de dados dos setores censitários, foi possível mensurar que a bacia e as adjacências apresentam aproximadamente 1804 domicílios permanentes e coletivos, sendo 1802 particulares permanentes, com ocupação correspondendo a 79,19%, ou seja, domicílios que possuem moradores.

Desse recorte, evidenciou-se que 70% do quantitativo de domicílios ocupados estão localizados em Caetés, percentual proporcional a área abrangida sobre a bacia, refletindo no número do quantitativo populacional. A esse respeito, a tabela 24 expressa a relação e a condição dos domicílios existentes na bacia para os diferentes municípios.

Por sua vez, os domicílios desocupados representam cerca de 20%, correspondendo a casas vazias ou abandonadas, cujas desapropriações são derivadas da migração das famílias para outras áreas e também dos recentes impactos causados pelos parques eólicos instalados no município de Caetés. Isso porque a população precisou se mudar de suas residências devido ao ruído provocado pelas torres, caracterizando uma paisagem de abandono, restando alguns elementos de testemunho da paisagem que outrora era habitada (Figura 50).

Figura 50: Área abandonada devido à presença de torres eólicas.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2018.

Tabela 24: Relação dos domicílios na Bacia do Riacho São José-PE.

Relação dos domicílios na Bacia do Riacho São José								
Município	Setor Censitário		Domicílios Particulares e Coletivos	Domicílios Particulares e Coletivos por Município	Domicílios Particulares Permanentes	Domicílios Particulares Permanentes por município	Domicílios Particulares Permanentes Ocupados	Domicílios Particulares Permanentes Ocupados por Município
	ID	Código						
Caetés	24473	260320705000021	248	1.320	247	1.318	200	1.056
	24474	260320705000022	132		131		110	
	24475	260320705000023	253		253		192	
	24476	260320705000024	208		208		175	
	24477	260320705000025	216		216		179	
	24478	260320705000026	135		135		120	
	24479	260320705000027	128		128		85	
Pedra	30142	261080610000005	192	317	192	317	150	244
	30144	261080615000002	125		125		94	
Paranatama	29592	261030105000010	167	167	167	167	127	127
Total	10	10	1.804	1.804	1.802	1.802	1.427	1.427

Fonte: Censo demográfico do IBGE 2010. Organização: A. M. S. CHAVES, 2019.

O indicativo desta saída está nas áreas onde restam, apenas, a cisterna que fomentava as atividades da família em período seco, casas antigas construídas de taipa desabitadas (Figura 51) e até mesmo casas de alvenaria desocupadas, estas, excepcionalmente, quando os proprietários possuem mais de um domicílio em sua propriedade e não moram na zona rural.

Figura 51: Casa de taipa abandonada.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2018.

Cenários como estes, direta ou indiretamente, ocasionados pela modificação antrópica sobre o sistema territorial, compreendem uma população total estimada, na BRSJ e em seu entorno, de 6.239 habitantes (Tabela 25). A estrutura de gênero apresenta saldo quase similar quando retratado o sexo masculino e feminino, desmistificando a preponderância de homens no âmbito rural porque apresentariam maiores capacidades para as atividades que demandam força física.

Além disso, cabe pontuar a divisão das atividades, pois ainda sobressai a responsabilidade de cuidar da família, dos afazeres domésticos e aquelas atividades de esforço físico e risco mediano (plantação de grãos e tubérculos, carregar água, limpeza da roça) sobre as mulheres. O que traduz relação e modo de vida cultural passado entre as gerações sobre a organização da casa e do trabalho.



Tabela 25: Estimativa da população residente nos setores censitários pertencentes a bacia do Riacho São José.

Estimativa da População na Área da Bacia e Entorno de Acordo com Setores Censitários					
Municípios	Homens	Mulheres	População Total	População Total por Município	População Total por Município (%)
<b>Caetés</b>	407	382	789	4.228	67,77%
	188	190	378		
	398	380	778		
	370	337	707		
	331	340	671		
	319	212	531		
	206	168	374		
<b>Pedra</b>	286	271	557	1.530	24,52%
	477	496	973		
<b>Paranatama</b>	257	224	481	481	7,71%
<b>Total</b>	3.239	3.000	6.239	6.239	100,00%

Fonte: Censo demográfico do IBGE 2010. Organização: A. M. S. CHAVES, 2019.

Diante das especificidades naturais de serras (Figura 52) que caracterizam a paisagem do médio curso, a população residente nos domicílios do baixo curso da bacia tem a prestação de serviços básicos de assistência atendida nos povoados e na cidade de Pedra, embora parte dessas pessoas residam nos limites municipais de Caetés. Isso ocorre devido a proximidade, disponibilidade de transporte para escola e atendimento de saúde.

Figura 52: Estrada em feições de serras no acesso entre o médio e baixo curso da bacia do Riacho São José-PE.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2018.

Nesse sentido, essas áreas compreendem a faixa denominada por alguns como “terra sem dono”, do ponto de vista da gestão pública, pois são terras distantes da sede do município de origem, com estradas íngremes e sinuosas, acompanhando os contornos das serras, e com pouca manutenção, ficando intransitável durante chuvas intensas.

Pode-se dizer, então, que esses aspectos apontam que tais fatores promovem relações intermunicipais por conta dos serviços prestados à população, em certa parte da bacia no setor a oeste, mesmo que a delimitação geopolítica ou físico-natural esteja em evidência porque as interações sociais são complexas e diversas.

## **5.2 Padrões e Mudanças na Cobertura e Apropriação da Terra na Bacia do Riacho São José-PE**

Na intenção de entender a organização territorial e ambiental da paisagem semiárida da bacia do Riacho São José, foram identificadas as dinâmicas dos padrões e as mudanças da cobertura e apropriação da terra. Para isso utilizou-se dados espaciais por meio de ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto de imagens de satélite Landsat, visto ser procedimentos confiáveis e utilizados na literatura (ACCIOLY *et al.*, 2017; ANDERSON *et al.*, 1976; ASSIS *et al.*, 2012; OLIVEIRA; GALVÍNCIO, 2011; SILVA, 2017).

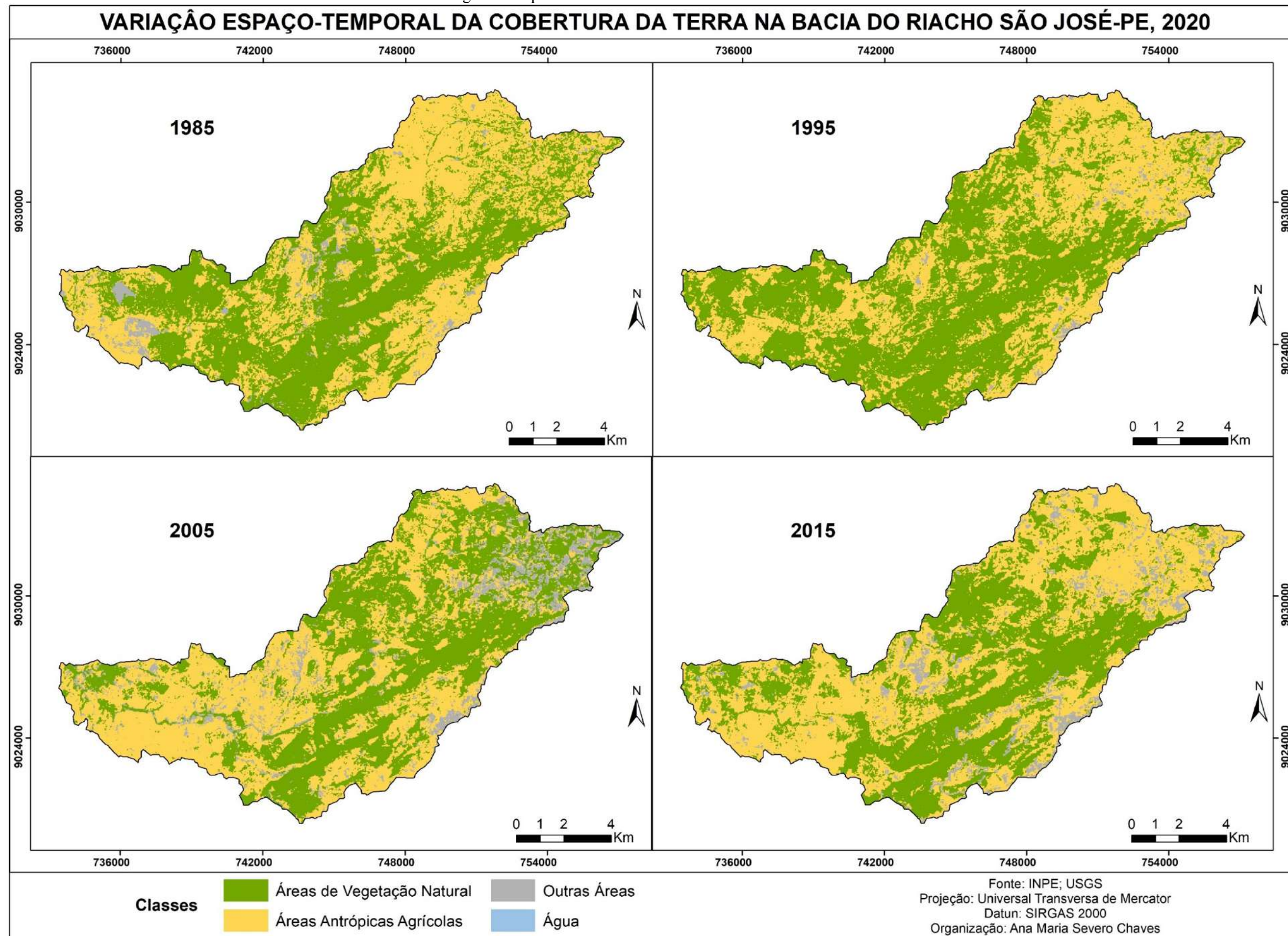
Por conta das características das imagens do satélite Landsat (5 e 8), com resolução espaço de trinta metros por pixel, o mapeamento compreende os tipos gerais de cobertura da terra, seguindo a classificação geral do Sistema Básico de Classificação da Cobertura e do Uso da Terra (IBGE, 2013).

O mapeamento compreendeu quatro recortes espaço-temporais (1985, 1995, 2005 e 2015) e permitiu identificar padrões e mudanças ocorridas na cobertura da Terra, as quais estão quantificadas com vias para melhor apreensão dos dados de ocupação e apropriação do sistema territorial estabelecido na bacia do Riacho São José (Figura 53).

Observando o mapa, percebe-se que os tipos de cobertura não se alteraram muito ao longo do recorte temporal estudado, sendo identificado áreas de vegetação natural, áreas antrópicas agrícolas, água e outras áreas (afloramento rochoso, solo exposto e quando não possível identificar o uso). No entanto, mudanças foram impostas nos modos de uso, sendo decorrentes principalmente pela introdução do parque eólico, o que fez surgir novos padrões verificados no recorte temporal de 2015.



Figura 53: Mapa da cobertura da terra na bacia do Riacho São José-PE.



Elaboração: A. M. S. CHAVES, 2019.



É válido ressaltar que a identificação de usos, a partir da cobertura da Terra, se deu associada às atividades de campo realizadas ao longo da pesquisa, a qual foi relevante por ter percorrido porções distintas da BRSJ. Além disso, foram coletadas outras informações graças a participação no grupo de estudo do Vale do São José (composto por alguns membros que moram na área da bacia ou seu entorno), diálogos proveitosos com os moradores e outras pesquisas de outros contextos realizadas na área de estudo.

Em específico, foi constatado na cobertura da BRSJ que a concentração de áreas com cobertura de vegetação natural (predominante por caatinga densa e aberta), está disposta em áreas de relevo forte ondulado a escarpado, com existências de neossolos litólicos e afloramentos rochosos, compreendendo encostas e vales, ou seja, espaços de difícil acesso ao homem e ao estabelecimento de atividades antrópicas agrícolas (Figura 54).

Figura 54: Registros de áreas de vegetação natural no médio curso da bacia do Riacho São José-PE.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2017; 2018.

(a) Maio de 2017 e (b) maio de 2018

Esse aspecto é comum ao ambiente semiárido das bacias pernambucanas, pois Calado e Duarte (2019) constataram a mesma realidade para a Rio Maniçoba no município de Sanhoró na região Agreste de Pernambuco, como também foi observado por Silva (2017) para a bacia do Rio Ipanema-PE/AL. Contexto em que a apropriação do solo reflete a declividade do terreno, limitando as áreas de vegetação natural as encostas íngremes e topos de morros.

Nesses ambientes em que a vegetação natural encontra-se conservada, as dinâmicas ecológicas se desenvolvem com maior equilíbrio, em decorrência disso a prestação dos serviços ecossistêmicos de regulação e manutenção são mais eficazes. Isso não impossibilita usos alternativos, como atividades de bem-estar humano ao ar livre, principalmente quando a paisagem configura elementos de lazer, como cachoeiras.

Na porção do alto e médio curso da BRSJ, as áreas com caatinga são mais fechadas e arborizadas, já no baixo curso se encontra a caatinga aberta, composta principalmente por espécies arbustivas. Isso ratifica certo padrão comum na região semiárida de Pernambuco e outros estados nordestinos, como constatado em Oliveira e Galvêncio (2011), Coelho *et al.* (2014) e Accioly *et al.* (2016).

Assim sendo, Accioly *et al.* (2016, p. 07) destacam que “A maior proporção de caatinga densa no Agreste, em relação ao Sertão, é atribuída aos solos associados ao relevo movimentado desta mesorregião”. Essas interações caracterizam uma vegetação com características não uniformes, cuja variabilidade está associada aos fatores ambientais (ACCIOLY *et al.*, 2016), configurando distintas fitofisionomias. Desse modo, como observado no médio curso da bacia, devido as características físico-naturais, encontra-se a vegetação mais representativa.

Referente às áreas antrópicas agrícolas, verificou-se a manutenção do padrão de apropriação da terra ao longo da série analisada, pois no alto curso da BRSJ destacam-se as atividades voltadas à agricultura e pecuária extensiva, e no baixo curso predominam a pecuária e o cultivo voltados para a nutrição animal, como a plantação de palma forrageira. No entanto, é comum verificar os mesmos tipos de cultivo em diferentes espaços da bacia que possibilitem tal desenvolvimento em diferentes expressões.

Essa diferenciação na cobertura e tipos de uso agrícola se deve principalmente às características climáticas locais, condicionadas pelo relevo e a forma alongada da BRSJ com cotas altimétricas de 470m a 980m. Sendo que a amplitude altimétrica ultrapassa os 500 metros, onde a parte do alto curso (localizada no planalto da Borborema) compreende área à barlavento recepcionando maior umidade e o baixo curso (na depressão do baixo São Francisco) a sotavento no com menor umidade e altas temperaturas.



Esse contraste também foi verificado na bacia do Riacho do Saco em Serra Talhada-PE. Sobre essa, Souza (2014, p. 21) destaca que diferenciação da cobertura vegetação e apropriação da terra está “[...] estritamente ligada à diferença altimétrica e de precipitação entre os patamares da bacia[...]”. O autor desataca a importâncias dos reservatórios para manutenção das atividades agrícolas.

No tocante a utilização direta da madeira da caatinga e outras espécies exóticas, foi possível registrar a retirada e posterior queima dos galhos e raízes das árvores sem utilidade. Prática evidenciada ao longo da bacia para uso na construção de cercas, lenha para queima utilizada na cozinha e para a edificação de telhados (Figura 55).

Figura 55: Registro de desmatamento e queimada na bacia do Riacho São José-PE.

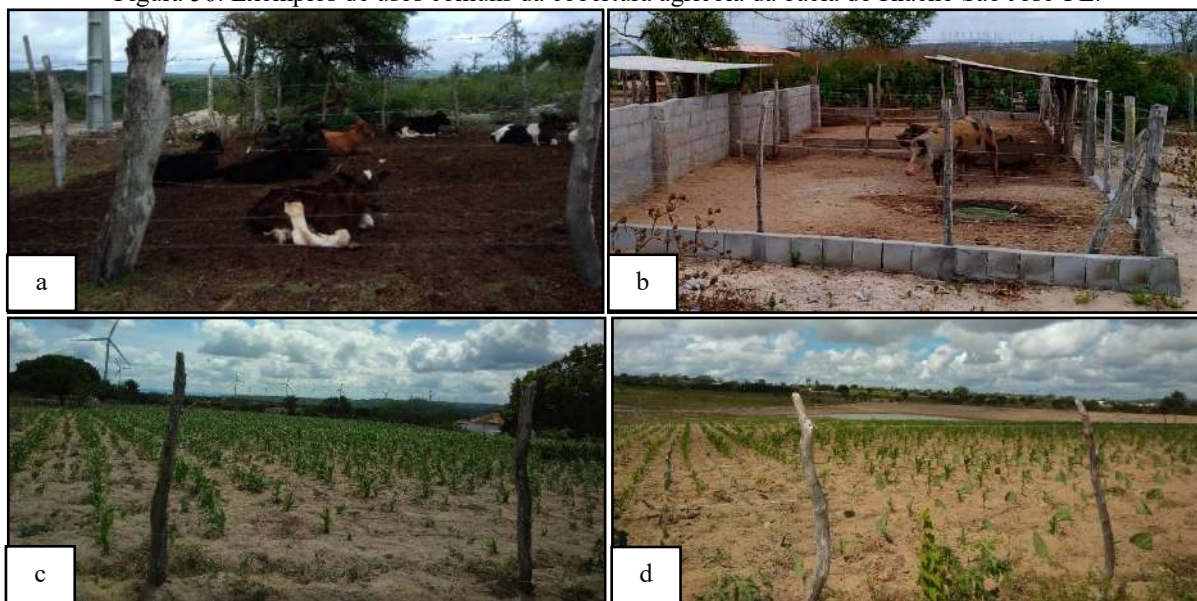


Fonte: A. M. S. CHAVES, 2019; 2020.  
(a) baixo curso e (b) médio curso.

A queima de galhos e resíduos da vegetação tem por finalidade limpar o terreno, suprimindo vestígios que restrinjam as atividades agrícolas, sendo realizada até mesmo em local desfavorável ao plantio por conta da presença de afloramentos rochosos. Já a madeira retirada, seja de espécies da caatinga ou não, é utilizada pela população para a construção de cercas e também para ser utilizada nos serviços domésticos, como lenha para fogão (queima). Vale ressaltar que há vestígios de antigas carvoarias, as quais faziam carvão, porém atualmente estas estão abandonadas e deterioradas pelo tempo.

O cultivo agrícola, apesar da restrição de usos em algumas áreas declivosas com neossolo litólico, ocorre em toda bacia, inclusive no médio curso, sendo comum a criação de animais (bovinos, caprinos, suínos e galináceos) e a plantação de culturas integradas, como palma forrageira, milho e feijão (Figura 56).

Figura 56: Exemplos de usos comuns da cobertura agrícola da bacia do Riacho São José-PE.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2019; 2020.

(a) Pecuária, (b) criação de suínos, (c) plantação em associação de milho e feijão e (d) milho e palma.

Em porções do médio e alto curso, foi observado a permanência da classe outras áreas, compreendendo espaços amplos de afloramentos rochosos, o que é comum para as características da BRSJ. Esses ambientes apresentam maior ou menor exposição das rochas a depender da presença ou ausência de caatinga rupestre, ou seja, fitofisionomias que desenvolvem sobre as rochas e espaços fraturados dessas com acumulação de detritos, refletindo as diferentes interações dos componentes geocológicos do semiárido (Figura 57).

A concentrada exposição do embasamento cristalino na BRSJ ocorre principalmente no médio curso, nas formações de vales fechados, feições de relevo forte ondulado, montanhoso e



escarpado, mas também foi constatada nas feições de encostas do baixo curso, a exemplo das cachoeiras que formam quedas d'água durante a ocorrência de precipitações concentradas.

Figura 57: Áreas de afloramento rochoso na bacia do Riacho São José-PE.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2018; 2019.

(a) Baixo curso e (b) médio curso.

Em do apresentado, também pode-se dizer que há certa relação da variação entre as áreas de uso agrícola e as áreas de cobertura não identificadas, pois, durante a preparação do solo para o plantio, ele fica exposto e entra nos usos classificados como outras áreas, como

também mais suscetível aos agentes intempéricos. Isso acaba contribuindo para o transporte de sedimentos e assoreamento dos cursos hídricos diante das feições de declividade da BRSJ.

Nesse contexto, quando as áreas antrópicas destinadas as atividades agrícolas são abandonadas pelo esgotamento da fertilidade do solo acabam resultando em porções degradadas e/ou solo exposto, situação já observado por Santos e Aquino (2019) para a bacia do rio Poti no nordeste do Piauí.

Perante o apresentado, observou-se que a BRSJ apresenta um padrão de cobertura e apropriação da terra comum ao ambiente semiárido (ACCIOLY *et al.*, 2016; MMA, 2020; VIEIRA *et al.*, 2013) e de outras bacias hidrográficas do estado de Pernambuco e do Nordeste (CALADO; DUARTE, 2019; SEABRA *et al.*, 2014; SOUZA, 2014), inclusive correspondente ao constatado para toda a bacia do rio Ipanema-PE/AL (SILVA, 2017), a qual a bacia do Riacho São José integra.

Destaca-se ainda que os resultados do mapeamento estão quantificados (Tabela 26) para se ter uma melhor dimensão das mudanças ocorridas. Ainda, observa-se que, ao longo dos anos, a classe de cobertura da terra ocupa as maiores proporções territoriais na BRSJ são as áreas antrópicas agrícolas que compreendem os usos antrópicos, seguidas pelas áreas de vegetação natural, as quais representam as diferentes fitofisionomias. Vale frisar, ainda, que todas as classes de cobertura da Terra apresentaram flutuações ao longo dos 30 anos analisados.

As áreas de vegetação natural apresentaram padrão decrescente ao longo das datas analisadas, com exceção em 1995 quando destacou aumento de 6,31%, atingindo 54,97% em comparação a 48,66% em 1985. Desse modo, os fatores climáticos contribuíram para esse resultado, conforme esclarecido no capítulo III, já nas décadas seguintes regrediu para 43,58 % em 2005 e 42,77% em 2015.

Os usos da madeira, para as atividades humanas, têm acarretado na diminuição das áreas de vegetação natural da bacia do Riacho São José ao longo do tempo. No entanto essa é uma situação preocupante para o contexto semiárido no geral, pois, a vegetação da Caatinga sofre o processo de desmatamento em função das atividades humanas, com destaque a pecuária e agricultura (MMA, 2020; SEABRA *et al.*, 2014).

Referente as áreas antrópicas agrícolas, cobertura que compreende agricultura e pastagem, apresentou padrão crescente, saindo de 47,38% em 1985 para 50,81% no ano de 2015, aumento de 3,43 %. Exceção nesse padrão ocorreu no ano de 1995, quando as AAA ocuparam 43,56% da BRSJ, redução de 3,82 % de abrangência. Mas seguido de recuperação em 2005 quando voltou a ocupar área territorial de 47,05%.



Tabela 26: Quantificação das classes de cobertura da terra da bacia do Riacho São José-PE.

1985	Classe	Área em Km²	Área em %
	Áreas de Vegetação Natural - AVN	71,38	48,66%
	Áreas Antrópicas Agrícolas - AAA	69,50	47,38%
	Outras Áreas - OAN	5,80	3,95%
	Água - AGU	0,02	0,01%
	Total	146,69	100,00%
1995	Classe 1995	Área Km²	%
	Áreas de Vegetação Natural	80,64	54,97 %
	Áreas Antrópicas Agrícolas	63,90	43,56 %
	Outras Áreas	2,12	1,45 %
	Água	0,04	0,03 %
	Total	146,69	100,00 %
2005	Classes	Área Km	%
	Áreas de Vegetação Natural	63,93	43,58 %
	Áreas Antrópicas Agrícolas	69,02	47,05 %
	Outras Áreas	13,73	9,36 %
	Água	0,02	0,01 %
	Total	146,69	100,00 %
2015	Classes	Área Km	%
	Áreas de Vegetação Natural	62,74	42,77 %
	Áreas Antrópicas Agrícolas	74,54	50,81 %
	Outras Áreas	9,39	6,40 %
	Água	0,03	0,02 %
	Total	146,69	100,00 %

Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.

Sobre a classe para solo exposto e às áreas não identificadas, inicialmente compreendeu 3,95 %, em 1985, diminuindo para extensão de 1,45% (1995), seguida por aumento de 7,91% em 2005, atingido maior porcentagem registrada de 9,36%, e diminuição no ano de 2015 atingindo apenas 6,40%. Tais variações sofrem as influências climáticas, pois espécies herbáceas podem desaparecer em anos secos e reaparecer em anos de chuvas mais abundantes.

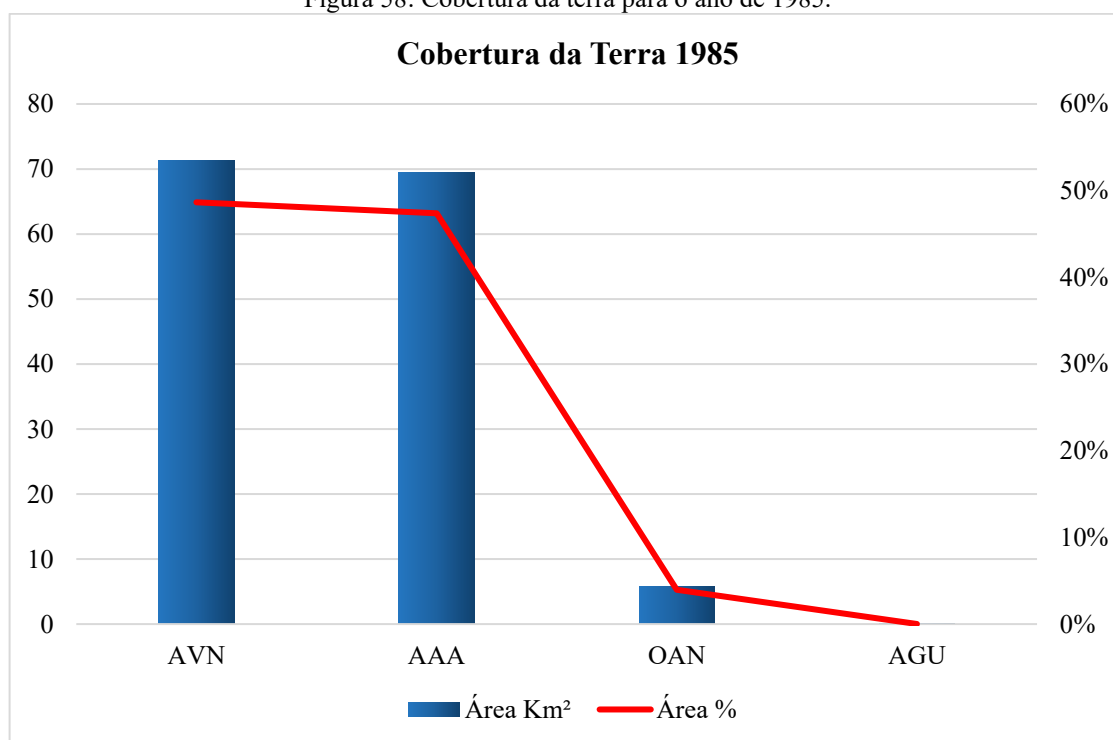
Em contraste com a bacia do Rio Ipanema, em um recorte espaço temporal de 10 anos (2005 a 2015), Silva (2017) constatou flutuações no padrão de cobertura e apropriação da terra, com aumento das áreas antrópicas agrícolas (agricultura e pastagem - 1%) e solo exposto (6%), em contraponto diminuição das áreas vegetadas por espécies arbóreas (3%) e herbáceas (5%). Uma realidade ampla para esse sistema fluvial em suas diferentes escalas.

Por sua vez, a classe água compreende valores mínimos, variando entre 0,01% a 0,03. Isso se deve às características físico-naturais do ambiente semiárido da BRSJ, em que os reservatórios são de pequena extensão, poucos superam a resolução de 30m<sup>2</sup>; os rios de caráter intermitente, correlacionados a precipitações reduzidas e pouco distribuídas espacialmente; incidência de radiação solar e altas temperaturas da superfície terrestre que potencializam a evapotranspiração do ambiente.

Como observados, as classes de cobertura da terra apresentaram pouca mudança ao longo do recorte espaço-temporal analisado, pois os usos desenvolvidos são principalmente a agricultura de subsistência e a pecuária de extensão, essa última também ocorre em área de vegetação natural.

Em detalhe, no ano de 1985, início da série espaço-temporal, a cobertura da terra que ocupava maior extensão territorial era AVN, com mais de 71Km<sup>2</sup>, seguida das AAA 69,50 Km<sup>2</sup>, compreendendo diferença com menos de 2Km<sup>2</sup>. Já outras áreas e a classe água apresentavam menores expressões superficiais, sendo 5,80Km<sup>2</sup> e 0,02 Km<sup>2</sup>, respectivamente (Figura 58).

Figura 58: Cobertura da terra para o ano de 1985.

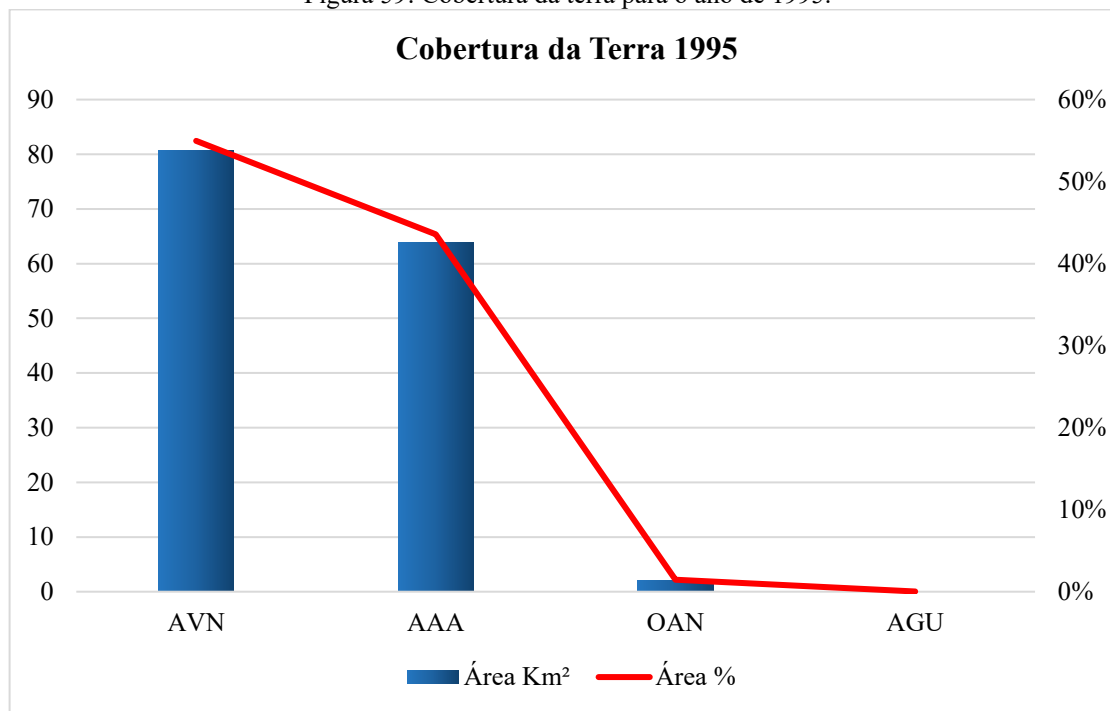


Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.

Na década seguinte, em 1995, mudanças foram observadas em relação a 1985, pois a classe de vegetação natural apresentou aumento acima de 9 Km<sup>2</sup>, as áreas antrópicas agrícolas e outras áreas estimaram redução de aproximadamente 6 Km<sup>2</sup> e 3 Km<sup>2</sup> (Figura 59). Isso permite

mensurar que as AAA foram recuperadas das condições de AVN, bem como recuperadas das áreas de solo exposto, condições que refletem anos chuvosos e sua influência na cobertura vegetal da bacia, como abordado nos capítulos III e IV.

Figura 59: Cobertura da terra para o ano de 1995.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.

Nos anos seguintes, 2005 e 2015, constatou-se mudanças contrárias, pois predominou a substituição das áreas de vegetação natural por outras classes de coberturas, situação verificada em outras análises espaço-temporais em ambiente de caatinga (SANTOS; AQUINO, 2019; SILVA, 2017).

Essa constatação reflete a intensificação de uma apropriação e utilização degradante dos recursos da BRSJ, mudando assim o padrão de distribuição das classes de cobertura da terra, quando as áreas agrícolas ultrapassam a cobertura natural.

No primeiro intervalo (2005) em relação ao ano anterior (1995), ocorreu redução de aproximadamente 17 Km² nas AVN e aumento superior a 5 Km² nas AAA e de 10 Km² para classe de OAN (Figura 60).

A situação se agrava um pouco mais em 2015 (Figura 61), pois prossegue a diminuição das AVN para 62,74 Km² e aumento das AAA atingindo maiores proporções registradas, quase 75 Km². O lado positivo foi que ocorreu apenas o decréscimo pouco mais de 1 Km² da vegetação natural e uma incorporação superior a 4 Km² de áreas degradadas aos usos antrópicos.

Figura 60: Cobertura da terra para o ano de 2005.

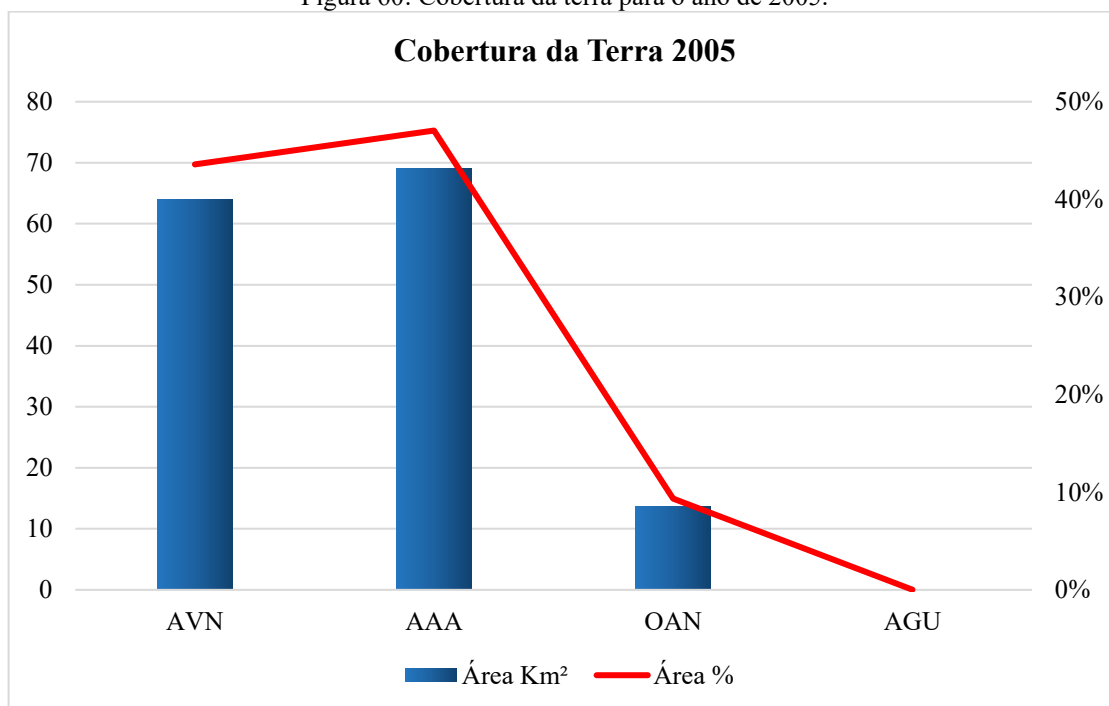
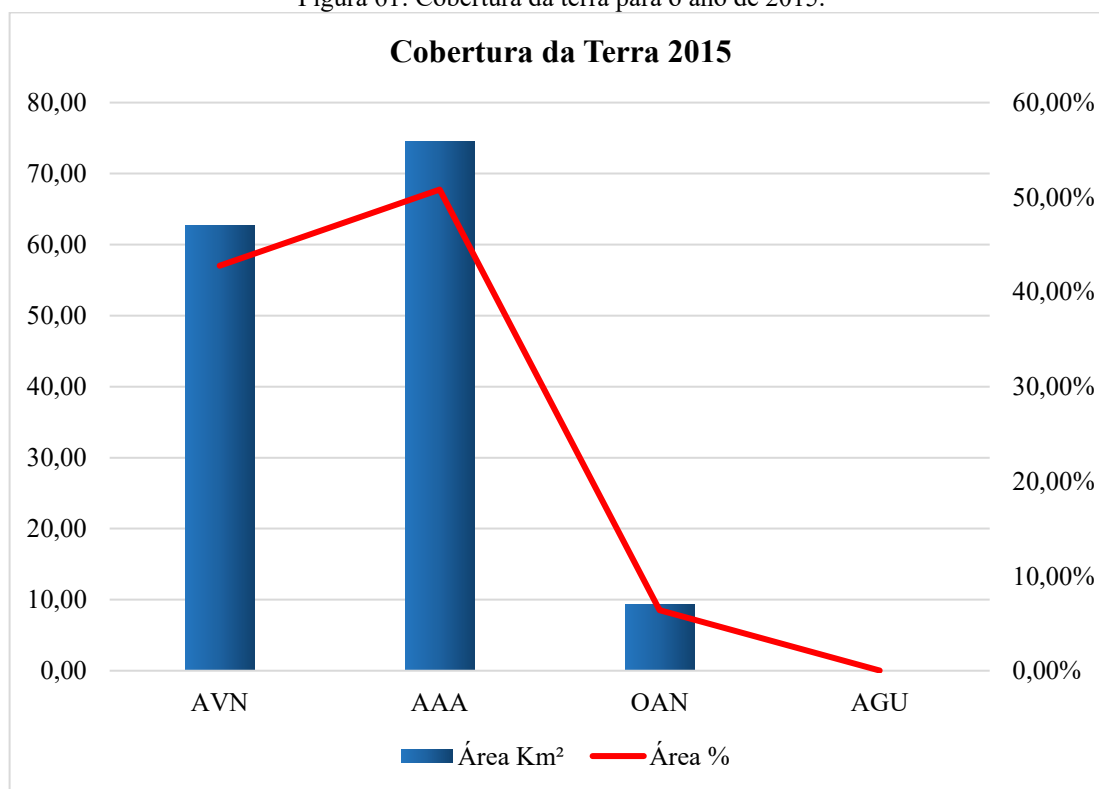


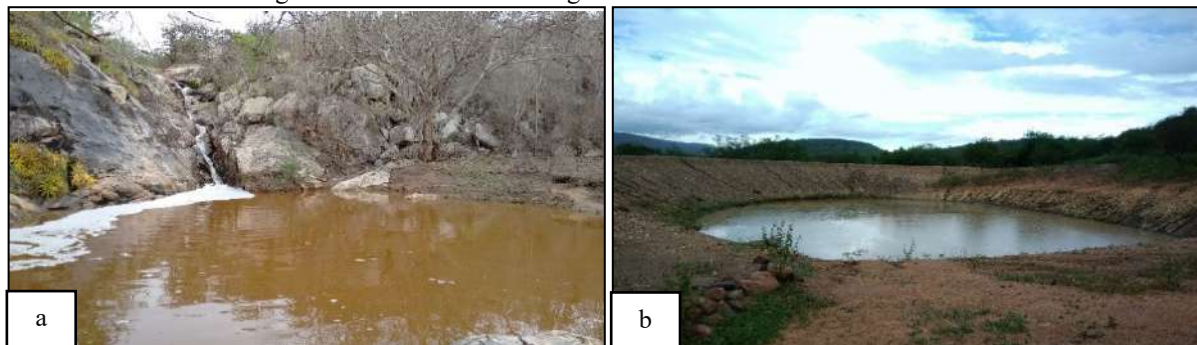
Figura 61: Cobertura da terra para o ano de 2015.



Nesse contexto de mudanças ocorridas na cobertura da terra, a classe a água foi a que menos variou, se mantendo abaixo de 0,05 Km², dados que refletem os aspectos hidrográficos

da região semiárida com rios intermitentes, efêmeros e reservatórios com pequena extensão (Figuras 62).

Figura 62: Reservatórios de água na bacia do Riacho São José-PE.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2019.

(a) No médio curso e (b) no baixo curso.

A figura 58-a é do reservatório formado na cabeceira da cachoeira grande, mas devido a sua localização de difícil acesso, as águas apenas são utilizadas para dessedentação animal e lazer dos moradores locais e visitantes. O segundo reservatório (figura 58-b) teve construção recente, conforme denota a paisagem do entorno, cujas águas são utilizadas para pecuária e agricultura.

O reservatório mais antigo e conhecido como açude velho, encontra-se no alto curso da BRSJ, o qual estava seco no dia do registro fotográfico e tem aparência de ser raso, por conta disso tende a evaporar com mais facilidade devido a fina camada de água acumulada durante o período chuvoso (Figura 63).

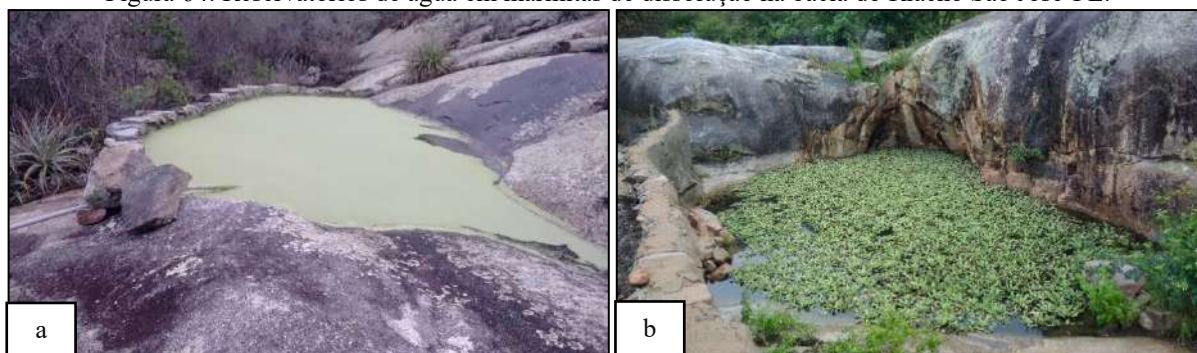
Figura 63: Reservatório antigo bacia do Riacho São José-PE.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2019.

Outras maneiras de uso e acesso à água se dá por cisternas, poços artesianos e caldeirões (marmitas / weathering pits). Essa última compreende “depressões fechadas disseminadas sobre litologias cristalinas” (SILVA; CORRÊA; AMORIM, 2017, p. 350) (figura 64 - a e b), presente em toda bacia, porém seus usos, para atividades agrícolas e domésticas, são mais comuns no médio e baixo curso, locais que recebem uma precipitação mal distribuída decorrente do fator orográfico.

Figura 64: Reservatórios de água em marmitas de dissolução na bacia do Riacho São José-PE.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2019.

(a) No médio curso e (b) baixo cursos.

Perante os dados quantitativos apresentados, observa-se que as classes de cobertura da terra da BRSJ variaram ao longo do tempo, expandindo e retraindo, com mudança no padrão no ano de 2005 quando as áreas com vegetação natural decrescem e ocorre a expansão das áreas antrópicas agrícolas.

É válido frisar que algumas especificidades só podem ser identificadas em trabalho de campo, como é o caso da água e de outros usos. Embora as imagens de satélites não permitam visualizar em detalhe, no campo se verificou a presença de reservatórios e usos integrados, como a associação do cultivo de milho e de outras culturas.

Outro aspecto importante na composição territorial da bacia é a presença de cachoeiras e sítios arqueológicos, atrativos que convidam os pesquisadores, a comunidade e os visitantes realizarem passeios e trilhas. As visitas às cachoeiras ocorrem, principalmente, após as chuvas, quando chega água nos cursos hídricos e formam quedas d'água (figura 65).

As cachoeiras são pontos com diversas funções na bacia do Riacho São José, pois, além de sua dinâmica natural no transporte e deposição de sedimentos ao longo da bacia e ser habitat da fauna e flora local, são áreas visadas para atividades recreativas e de lazer. No entanto se faz necessário atenção no tocante ao descarte inadequado de resíduos sólidos durante as visitas, visto que, infelizmente, são encontradas no local garrafas pets e sacos plásticos.



Figura 65: Cachoeiras formadas em áreas escarpadas no médio curso da bacia do Riacho São José-PE.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2019.

As demais observações feitas sobre as potencialidades paisagísticas e territoriais da BRSJ serão discutidas no tópico a seguir, o qual destaca a relação do sistema territorial e a prestação de serviços ecossistêmicos de acordo com as diferentes classes de cobertura da Terra.

Nesse contexto, observa-se que os diferentes usos e manejos feitos das áreas de vegetação natural, antrópicas agrícolas, ambientes hídricos, solo exposto e afloramentos rochosos revelam as dinâmicas e as funções ecológicas do ambiente semiárido que, direta e indiretamente, proporcionam benefícios múltiplos ao equilíbrio ambiental e bem-estar humano.

### **5.3 Sistema Territorial da Bacia do Riacho São José e a Prestação de Serviços Ecossistêmicos**

O sistema territorial da bacia do Riacho São José compreende atores inter-relacionados em uma área delimitada e sua vizinhança, pois as relações sociais não são restritas a limites físicos-naturais ou políticos administrativos. Para tanto, o meio é apropriado, transformado e organizado em espaço geográfico através de sistemas de representações que compreendem as características sociais, econômicas, culturais e ambientais, as quais perpassam os filtros sociais, individuais e ideológicos (MOINE, 2006).

Assim, buscou-se trazer as relações estabelecidas entre o sistema territorial por meio dos serviços e equipamentos que refletem na organização do território da bacia e a prestação dos serviços ecossistêmicos. Para isso, o primeiro passo foi entender que a bacia do Riacho São José compreende um espaço rural, mas, em certos pontos do território da bacia e da vizinhança, existe o fornecimento de serviços de saúde, educação e produtos voltados para a manutenção das casas, além da existência de uma comunidade rural, o povoado de Ponto Alegre.

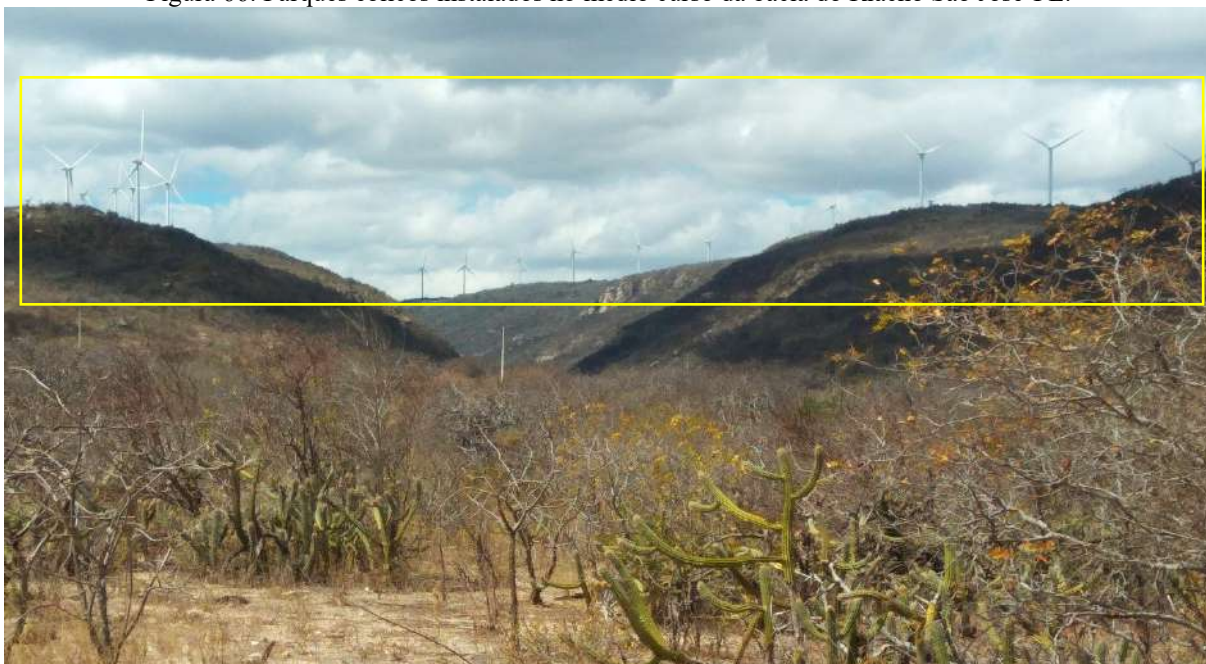
Isso faz refletir que parte da população não depende diretamente da cidade de Caetés ou Pedra para o acesso a serviços básicos, já que estes estarão presentes no ambiente rural. Isso se pensarmos diretamente na população residente no alto e médio curso da bacia (no município de Caetés) visto que a população que habita a área territorial de Caetés no baixo curso, devido às dificuldades de acesso, busca satisfazer as necessidades básicas a partir de distritos e a cidade de Pedra-PE.

Sobre tais relações territoriais, a partir de 2013, iniciou-se a instalação do maior complexo eólico de Pernambuco pela empresa Casas dos Ventos. O primeiro complexo, “Ventos de Santa Brígida”, é composto por sete parques eólicos na área territorial dos municípios de Caetés, Pedra e Paratama. Depois foi instalado o complexo “Ventos de São Clemente”, composto por oito parques eólicos localizados nos municípios de Caetés, Pedra, Venturosa e Capoeiras (<https://casadosventos.com.br/pt/nosso-compromisso/missao-e-valores>). Ambos complexos compreendem a área da BRSJ.

Os terrenos que os complexos eólicos foram instalados compreendem Terras arrendadas aos donos das propriedades, localizadas nas cotas mais elevadas do planalto da Borborema. O arrendamento corresponde ao pagamento mensal de um percentual sobre a venda da energia produzida nas propriedades. Isso marca a paisagem da bacia do Riacho São José em todas as direções para que se olhe com as gigantes torres (Figura 66 e 67).



Figura 66: Parques eólicos instalados no médio curso da bacia do Riacho São José-PE.



Fonte: A. M. C. CHAVES, 2019.

Figura 67: Parques eólicos instalados no alto curso da bacia do Riacho São José-PE.

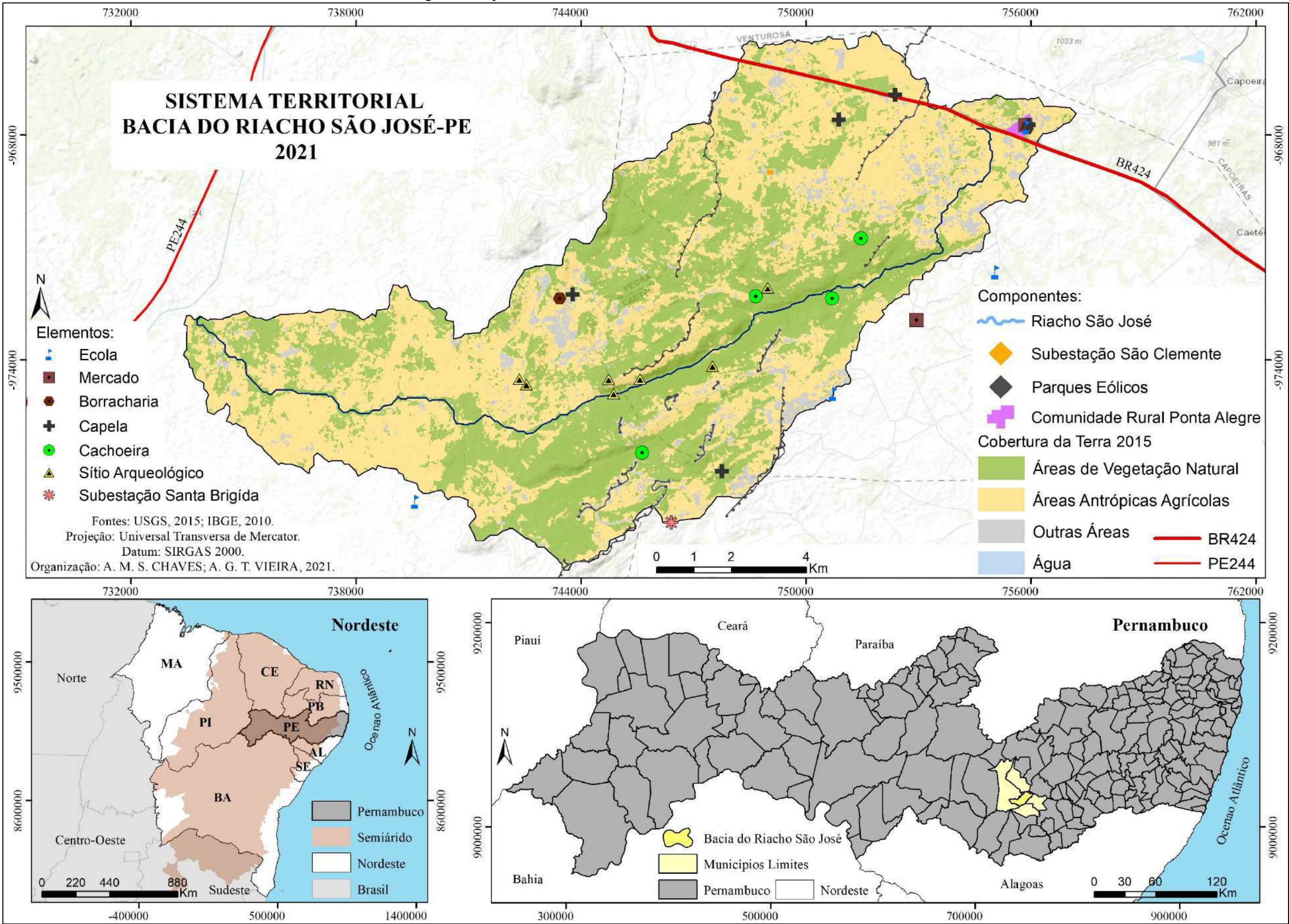


Fonte: A. M. C. CHAVES, 2020.

A presença desses complexos eólicos marca principalmente a paisagem do médio e alto curso da bacia, contrastando com a realidade do ambiente rural, cujas atividades são pautadas na agricultura de subsistência, pecuária de extensão, criação de animais de pequeno, médio e grande porte e comércio local. Contrastes esses que caracterizam os serviços e equipamentos do território estudado e estão representados no mapa do sistema territorial da BRSJ (Figura 68).



Figura 68: Mapa do sistema territorial da bacia do Riacho São José em Pernambuco.



Elaboração: A. M. S. CHAVES e A. G. T. VIEIRA, 2021.

Conforme representado no mapa, existe no território da bacia serviços educacionais, de saúde e de comércio. Além disso, as escolas localizadas na comunidade Ponto Alegre e na vizinhança promovem a educação para crianças e adolescentes nas etapas do ensino infantil e fundamental (anos iniciais e finais). A etapa do ensino médio só ocorre nas sedes municipais das cidades de Caetés, Pedra e Paranatama.

No contexto da saúde, o posto de atendimento básico familiar compreende atendimento de clínico geral e odontologia, além de ser responsável pelas campanhas de vacina e acompanhamento de gestantes durante a fase de pré-natal. Já as mercearias, mercados e padarias possibilitam o acesso a materiais básicos para as residências.

No mapa também são destaques a presença de cachoeiras como ponto de lazer para a população, sítios arqueológicos e capelas para atividades religiosas. Tais equipamentos são encontrados tanto na comunidade rural de Ponto Alegre ou nas proximidades da BR 424, como em outros pontos da bacia, onde se tem uma maior concentração de domicílios habitados.

Aos serviços e equipamentos que caracterizam o sistema territorial da bacia do Riacho São José, soma-se a prestação dos serviços ecossistêmicos, os quais ocorrem de modo diferenciado para as classes de cobertura da Terra, a saber: Área de Vegetação Natural (AVN), Áreas Antrópicas Agrícolas (AAA), Outras Áreas Não Identificadas (OAN) e Água (AGA).

Os Serviços Ecossistêmicos (SE), como apresentado anteriormente, compreendem serviços decorrentes da dinâmica e de funções dos ecossistemas que beneficiam a sociedade. Esses compreendem três sessões: provisionamento para fins nutricionais, materiais e energia; regulação e manutenção dos ecossistemas; e serviços culturais relacionados às interações de bem-estar físico, intelectuais e espirituais.

Cada seção dos SE, prestada na bacia estudada, foi analisada em associação com as classes de cobertura da Terra, ganhando destaque a função dos ecossistemas, o serviço prestado e o impacto associado, sejam impactos positivos, sejam positivos e negativos, pois, se tratando de funções dos ecossistemas, esses não geram impactos exclusivamente negativos.

Para a associação das classes de cobertura da Terra aos serviços ecossistêmicos, se fez uso da plataforma RAW Graphs, a qual corresponde a uma ferramenta gratuita e online que possibilita a visualização de dados em planilhas por meio de gráficos e esquemas de associação (MAURI *et al*, 2017). Como a referida plataforma funciona com linguagem de códigos, foram criados códigos para cada elemento utilizado, desde as classes de cobertura da Terra (AVN, AAA, OAN e AGU) aos tipos de impactos associados (PP e PN), essas informações encontram-se no Apêndice B.



Foram verificados vinte e dois SE de provisionamentos, os quais compreendem alimentos para fins nutricionais, fibras e outros materiais para processamento, produção de energia e materiais genéticos. Esses estão presentes em maior quantidade nas áreas antrópicas agrícolas, compreendendo quinze SE, isso se deve ao fato de nas AAA ser comum a presença de plantas selvagens e outros elementos das áreas de vegetação natural.

Os serviços de regulação e manutenção identificados foram dezenove, dentre esses, dezesseis SE fazem presentes nas AVN e AAA, sendo que as funções de regulação e manutenção são mais eficientes nas AVN, as quais respaldam em todo o sistema da bacia, visto o fator perturbação de origem antrópica ser menor, uma vez que essas áreas ocupam principalmente serras e vales com encostas íngremes, ou seja, de difícil acesso ao homem.

Ainda, tem-se os serviços culturais, os quais são divididos em interações físicas, intelectuais e espirituais com elementos bióticos e abióticos. Desses, foram identificados dez SE, todos presentes em AVN, sendo que nos demais tipos de cobertura da Terra também se faz presente os serviços culturais, mas em menor quantidade. A esse ponto, destaca-se os sítios arqueológicos de figuras rupestres desenhadas e talhadas nas rochas (Figura 69).

Figura 69: Registros de figuras rupestres na bacia do Riacho de São José em Pernambuco.



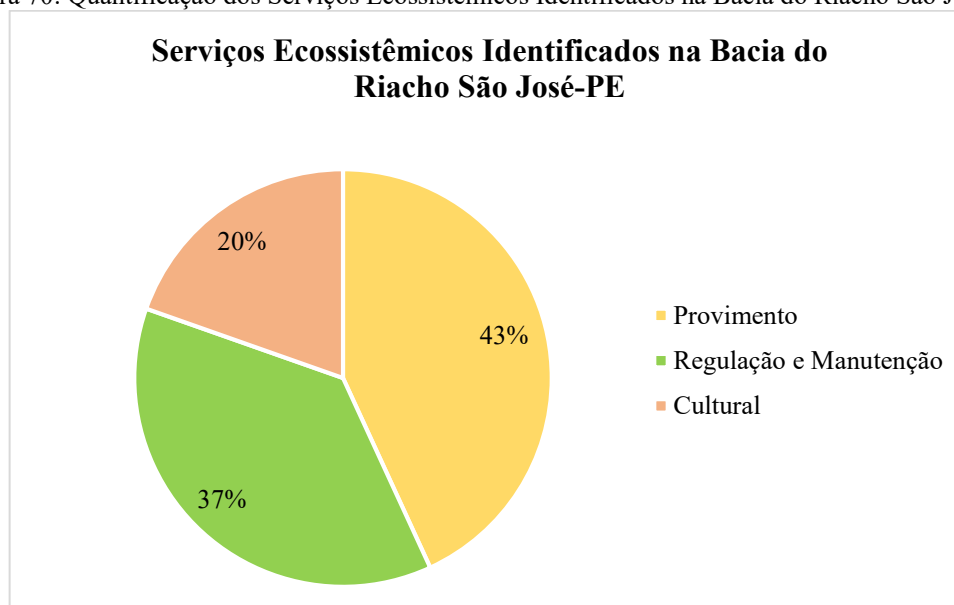
Fonte: A. M. S. CHAVES, 2018; 2019.



Nos sítios arqueológicos são desenvolvidas pesquisas acadêmicas, visitas de campo de escolas e universidades locais, passeios da população local e visitantes. Não se tem um acesso com trilhas estruturadas e com equipamentos adequados para se chegar aos diferentes sítios, visto que essas trilhas são feitas com acompanhamento do líder do Grupo do Vale do São José ou moradores locais que conhecem o percurso, o qual é de difícil acesso e envolve encostas íngremes em meio a vegetação da Caatinga, que possui plantas urticantes e espinhentas.

Em síntese, seguindo a CICES (2018), foram identificadas 51 classes de serviços ecossistêmicos para a bacia do Riacho São José: 22 na seção de provimento, 19 na de regulação e manutenção e 10 na seção cultural (Figura 70).

Figura 70: Quantificação dos Serviços Ecossistêmicos Identificados na Bacia do Riacho São José-PE



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.

Os serviços ecossistêmicos identificados variam de acordo com a classe de cobertura da terra da BRSJ (tendo como referencial o mapeamento de 2015). Assim, a tabela 27 indica a distribuição dos SE prestado conforme as seções definidas na CICES e as classes.

Tabela 27: Quantificação dos serviços ecossistêmicos identificados na bacia do Riacho São José-PE e por classe de cobertura da terra.

Quantificação dos serviços ecossistêmicos identificados na bacia do Riacho São José-PE					
Seção	BRSJ	AVN	AAA	OAN	AGU
Provimento	22	14	16	03	06
Regulação e Manutenção	19	16	16	04	05
Cultural	10	10	06	03	02
Total	51	40	38	10	13

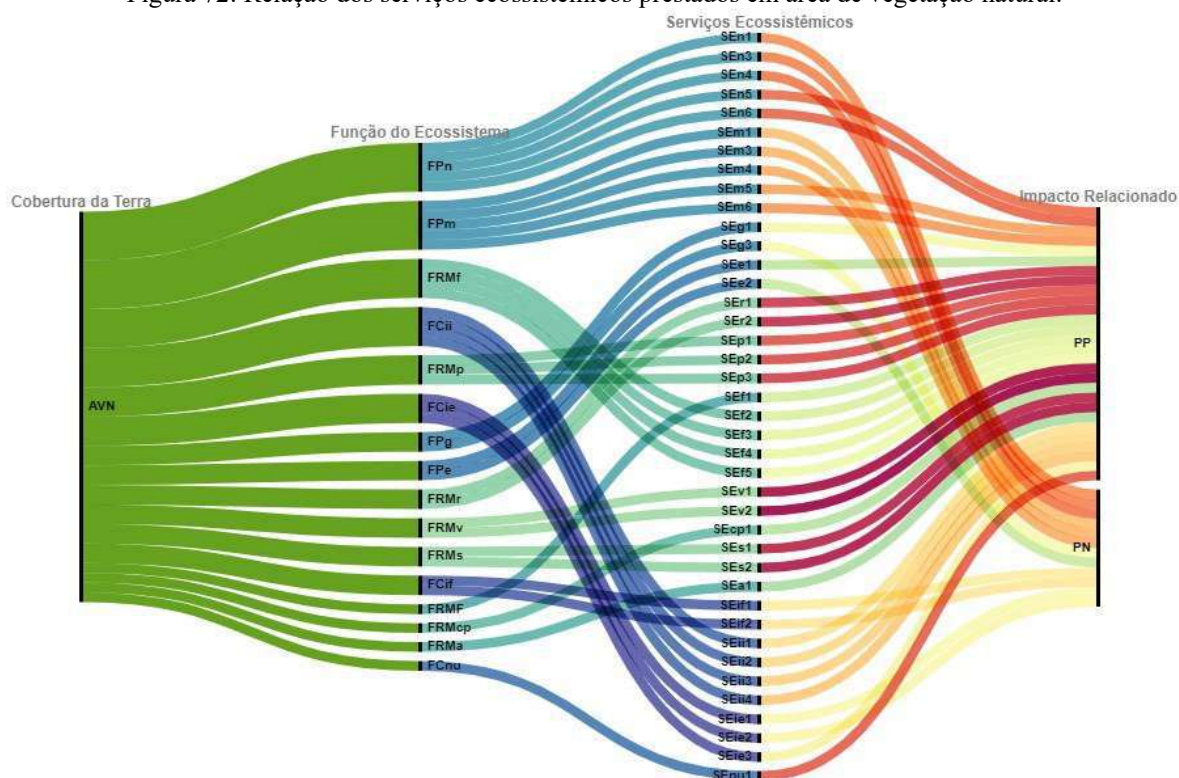
Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.



peças que a visitam esse ambiente, conhecendo as paisagens e usufruindo de seus benefícios. Assim, inicia-se a fala a partir dos serviços prestados nas áreas de vegetação natural, a qual comporta maior variedade desses benefícios.

As áreas de vegetação natural compreendem principalmente as áreas de encostas, vales e porções elevadas do terreno de difícil acesso ao homem e ao estabelecimento das atividades socioeconômicas. Esses ambientes, onde encontram-se a cobertura de vegetação, prestam serviços ecossistêmicos com funções de provimento (FP...) nutricional (n), material (m), energético (e) e genético (g); função de regulação e manutenção dos ecossistemas (FRM...) por mediação de resíduos (r), de perturbação (p), dos fluxos de linha de base (f), Manutenção do ciclo da vida (v), Controle de pragas (CP), do solo (s) e condições atmosféricas (a); função cultural dos (FC...) de interações físicas (if), interações intelectuais (ii), interações espirituais (ie) (Figura 72).

Figura 72: Relação dos serviços ecossistêmicos prestados em área de vegetação natural.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.

Acesso: <https://drive.google.com/file/d/1u2xT7rAh8mhpSYM4BmuaFBUncd4YvC7G/view?usp=sharing>

Nos fluxos da figura, observa-se a relação entre as funções ecológicas, os serviços ecossistêmicos prestados e os impactos associados. Nota-se que nenhum serviço prestado gera impacto negativo, mas ao se fazer uma análise geográfica dos processos desencadeados, aponta-se que existem alguns SE que, além do impacto positivo, acarreta impacto negativo derivados.

O primeiro tipo SE é o de provimento, refere-se a alimentos para fins nutricionais, como frutas e frutos das plantas selvagens (SEn1), a exemplo do *Spondias tuberosa* Arruda - Umbuzeiro/Anacardiaceae, *Eugenia pyriformis* Cambess. - Ubaia/Myrtaceae, *Ziziphus joazeiro* Mart. - Juazeiro/Ramnaceae e *Cereus jamacaru* DC. - Mandacaru/Cactaceae. No semiárido, assim como observado na BRSJ, a coleta de frutos e sementes para serem utilizadas na alimentação das populações locais são práticas frequentemente realizadas (ARAÚJO *et al.*, 2010; LUCENA *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2014; NASCIMENTO; RAMOS; SILVA, 2018, OLIVEIRA, 2019).

Outras fontes nutricionais são os animais selvagens (SEn3), a exemplo do *Kerodon rupestres* (Wied-Neuwied, 1820) - Mocó, *Euphractus sexcinctus* (Linnaeus, 1758) - Tatu, *Columbina talpacoti* (Temminck, 1810) - Rolinha, *Nothura boraquira* (Spix, 1825) - Codorna, *Tupinambis merianae* (Duméril & Bibron, 1839) – Tiú/Teju, entre outras espécies obtidas por meio da caça, atividade ilegal para captura de animais silvestres.

A caça, segundo Alves *et al.* (2010), é uma das atividades antrópicas mais antigas que se tem conhecimento. Nesse sentido, o hábito de caçar animais silvestres e utilizá-los na alimentação vem desde tempos mais antigos, perpassando gerações. No entanto, o estudo realizado por Cajaiba, Silva e Piovesan (2015) mostra que essa prática ainda é bastante comum em determinados ambientes, possuindo elevado valor de subsistência para as populações locais (DAVIES, 2002; FIGUEIRA *et al.*, 2003; CAJAIBA; SILVA; PIOVESAN, 2010).

Além dos animais silvestres, nas áreas de vegetação da Caatinga é comum a criação de animais livres (SEn4) de médio e grande porte, como *Capa aegagrus hircus* Linnaeus, 1758 - Cabras, Bodes, *Bos taurus* Linnaeus, 1758 - Vacas e Bois. A criação destes animais pode estar relacionada a aspectos alimentares e econômicos, visto que os recursos alimentares (carne e leite) proporcionados por tais organismos constituem como uma importante fonte alimentar e econômica para as famílias.

Os animais selvagens (SEm3) e os de criação (SEm4) também fornecem materiais (FPm) para processamento, como couro, sola, produtos medicinais e adubos. Por sua vez, plantas selvagens (SEm1) fornecem fibras utilizadas na produção de cordas, cestos e outros materiais (a exemplo da *Neoglasiovia variegata* (Arruda) Mez - Caroá/Bromeliaceae) (Figura 73), como fonte de energia (SEe1) (a exemplo da lenha de *Mimosa tenuiflora* Benth. – Jurema-preta) para fins domésticos e produção de carvão como o uso medicinal (SEm1) da casca de *Myracrodruon urundeuva* (Allemão) Engl – Aroeira. Oliveira (2019) também identificou o uso de plantas selvagens para a produção de materiais, produção de energia e como uso medicinal na Serra João do Vale, localizada na divisa entre o Rio Grande do Norte e a Paraíba.



Figura 73: Espécie *Neoglasiovia variegata* (caroá) da família das Bromeliaceae utilizada no processamento de materiais, a exemplo de cordas.



Fonte: A. M. S. CHAVES. 2020.

Pode-se dizer que esses SE acabam refletindo em impactos positivos, uma vez que são de uso para a manutenção da população, seja como fonte de alimento, seja como material que possibilita um recurso socioeconômico, sendo comum a utilização da madeira na construção de cercas para delimitar propriedades rurais, queima em fogões a lenha e construção de currais e telhados (Figura 74).

Figura 74: Exemplo de uso dos serviços prestados pelos ecossistemas da caatinga.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2018; 2019.

No entanto, em relação aos SE, estes também resultam em impactos negativos, sendo o mais visível o desmatamento da Caatinga arbórea e arbustiva, a captura e o consumo ilegal de

animais silvestres, a substituição de vegetação natural por áreas agrícolas e de pecuárias sem os cuidados de fazer manejos adequados, bem como em áreas inadequadas ao uso. Atividades humanas, como o desmatamento da cobertura vegetal para uso doméstico e industrial e a transformação de ambientes naturais em áreas propícias para o uso da pecuária e agricultura, constituem nas ações antrópicas mais frequentemente realizadas na Caatinga (MMA, 2019).

Nesse sentido, o desmatamento constitui-se como a principal causa da diminuição da riqueza e diversidade da flora nativa da Caatinga, acarretando, também, em impactos na diversidade biológica, visto que a fauna depende dela. (SENA, 2011). Como discutido no início deste trabalho, severas pressões antrópicas no ecossistema culminam em um empobrecimento dos serviços ecossistêmicos prestados por ele, como é o caso do desmatamento que reduz a oferta de substratos arbóreos que poderiam ser utilizados para nidificação de abelhas nativas. Dessa forma, sem tais substratos, a riqueza e a diversidade de abelhas são afetadas (PEREIRA, 2006), processo que diminui os serviços de manutenção e regulação prestados por elas, a exemplo da polinização.

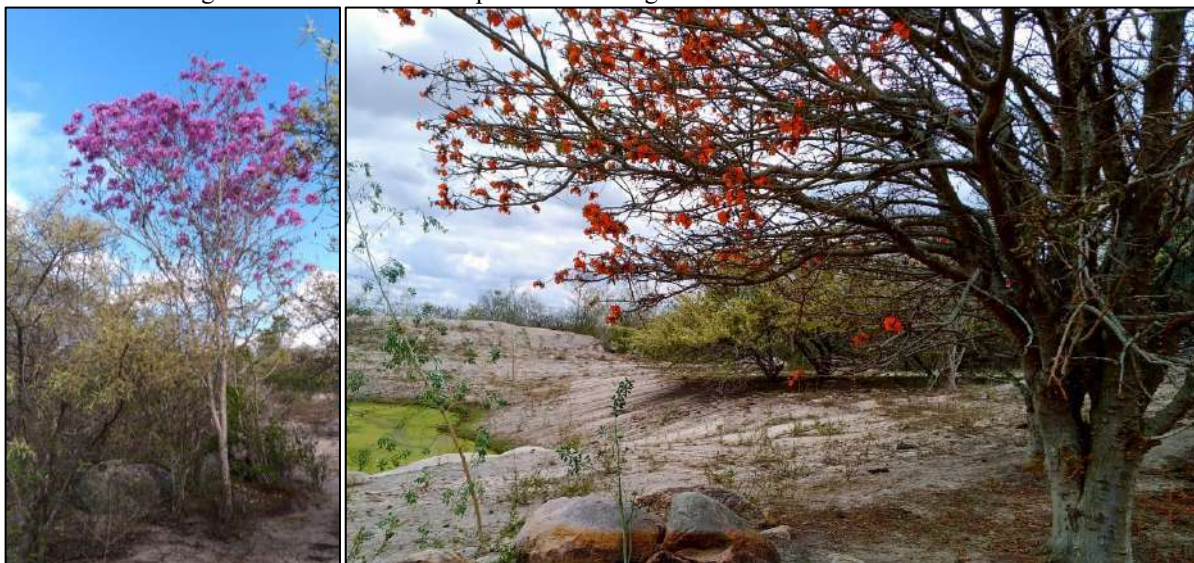
Outras funções de provimento dos ecossistemas de áreas de vegetação naturais positivas são: sementes e esporos (SEg1), compreendendo materiais genéticos que permitem manter e estabelecer uma população; animais criados livres na Caatinga para produção de energia mecânica (SEe2) por meio de equipamento como carros, carroças e arados puxados à tração animal (de bois, cavalos ou burros). A esses serviços, se somam a água da superfície e subterrânea com função de nutrição, ou seja, para beber (SEn5 e SEn6) e para o processamento direto na produção de materiais e serviços (SEm5 e SEm6).

No tocante aos SE de regulação e manutenção, esses são por natureza positivos, pois, regulam e mantêm em funcionamento a dinâmica e as funções dos ecossistemas. Assim, é prestada a função mediação de resíduos (FRMr) como remediação biológica (SEr1) por plantas e insetos que recuperam e nutrem o solo de impactos antropogênicos, filtragem, sequestro, armazenamento e acumulação (SEr2) de gases e substâncias, como o carbono.

Existem os SE de regulação e manutenção por mediação de perturbação (FRMp), como as plantas e microrganismos que proporcionam a redução de cheiros (SEp1) indesejáveis; a vegetação também atenua os ruídos (SEp2), pois funciona como uma barreira acústica, algo percebido, principalmente, quando se está rodeado da vegetação densa e o ruído provocado pelas torres eólicas é amenizado; e ainda se tem o fator visual (SEp3), pois a vegetação, para além dos inúmeros SE prestados, reflete a composição cênica de beleza paisagística que encobre algumas áreas desagradáveis a visualização, principalmente em época de floração das espécies, quando paisagens degradadas ganham cor e beleza (Figura 75).



Figura 75: O florescer de espécies da caatinga na bacia do Riacho São José-PE.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.

*Tabebuia impetiginosa* / Bignoniaceae (pau darco roxo), *Erythrina velutina* / Fabaceae (mulungu) e *Mimosa tenuiflora* / Fabaceae (jurema-preta).

A figura apresentada destaca espécies com floração no mês de janeiro. A vegetação da bacia do Riacho de São José também desempenha serviços ecossistêmicos de regulação e manutenção dos fluxos de linha de base e eventos extremos (FRMf), a exemplo de controle de erosão (SEf1), regulação do ciclo hidrológico (SEf2) e proteção contra o vento (SEf3), quando a vegetação está disposta como cercas vivas ou muros que formam uma barreira.

Outros serviços prestados na sessão de regulação e manutenção compreende funções dos ecossistemas na manutenção do ciclo da vida (FRMv) por meio da Polinização ou dispersão de gametas (SEv1), atividade essencial para reprodução de plantas desenvolvidas por diversos animais (morcegos, beija-flores, abelhas, borboletas, besouros); dispersão de sementes (SEv2), atividade realizada por animais como cassacos, raposas, aves, morcegos e formigas na propagação de espécie vegetais sobre o território; controle de pragas (FRMc / SEcp1) por animais, como escorpião, cobras e anfíbios *Rhinella jimi* (Stevaux, 2002) - Cururu; como também a regulação e manutenção dos solos (FRMs) pelo processo de intemperismo (SEs1) na formação, decomposição, e fixação (SEs2) de material orgânico, além das condições da atmosfera para regulação da temperatura e umidade (FRMa / SEa).

A polinização prestada por um grande número de organismos, principalmente as abelhas, é um serviço ecossistêmico fundamental (KEVAN; VIANA, 2003) para a produção de alimentos (plantas polinizadas geram melhores frutos e sementes) (RICKETTS *et al.*, 2008) e para manutenção da biodiversidade local (plantas, frutos e sementes são amplamente utilizados ao longo da teia alimentar) (IMPERATRIZ-FONSECA; NUNES-SILVA, 2010). Vale

menção que as abelhas nativas são importantes na polinização de plantas do bioma Caatinga (SILVA; PAZ, 2012; KERR, 1987), polinizando espécies como *S. tuberosa*, *M. arundeuva* (SILVA *et al.*, 2012).

Além dos SE com funções de regulação e manutenção das condições ambientais, as quais diretamente e indiretamente beneficiam a humanidade, trazem-se os serviços culturais, os quais correspondem às interações diretas entre os indivíduos e os elementos bióticos e abióticos dos ecossistemas que são as funções de interação física (FCif), interações intelectuais (FCii) e interações espirituais (FCie). Ainda há os serviços ligados ao bem-estar direto dos indivíduos por meio do desenvolvimento de atividades físicas ativas e imersivas (SEif1) na promoção de saúde e lazer, a exemplo da realização de trilhas, escaladas, acampamento e banho, e atividades passivas e observacionais (SEif2), como caminhadas e contemplação da natureza (Figura 76).

Figura 76: Trilha realizada na bacia do Riacho de São José-PE.

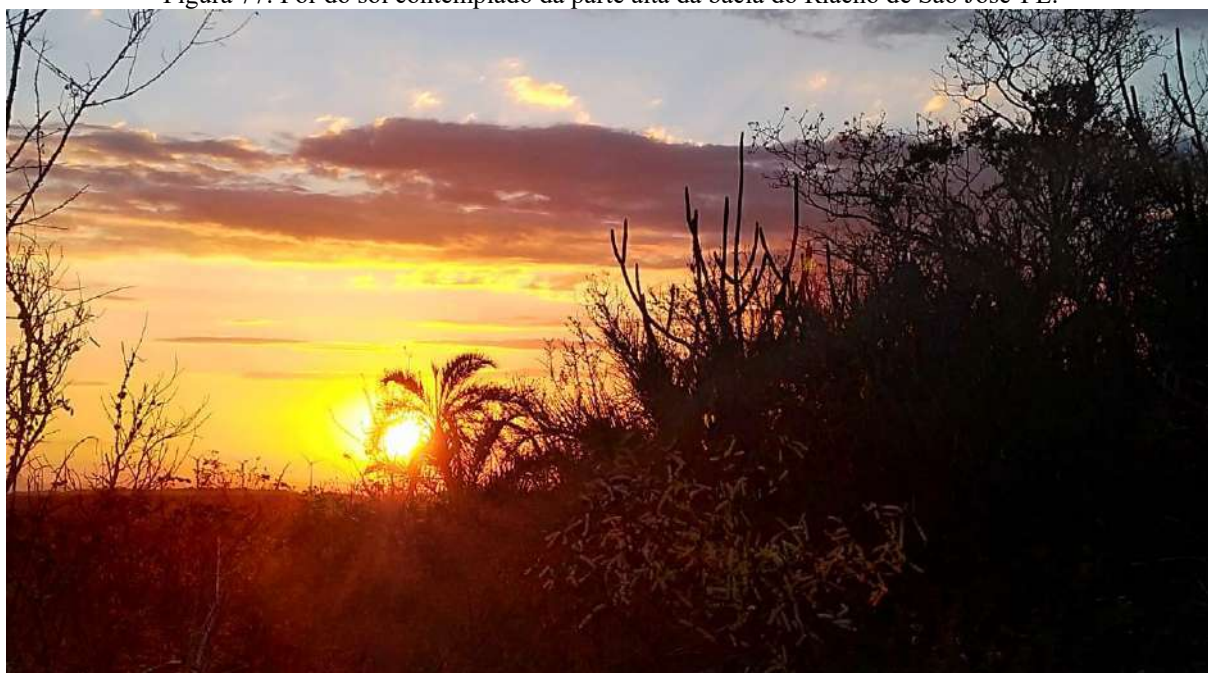


Fonte: A. M. S. CHAVES, 2017; 2019.

Os serviços ecossistêmicos culturais registrados compreenderam tanto os trabalhos científicos realizados por pesquisadores do Grupo do Vale de São José, quanto por visitantes que por lazer saíam junto aos pesquisadores ou em grupo com algum morador local para fazer trilhas, usufruir das cachoeiras para contemplarem a paisagem. (Figura 77).

Ressalta-se que as interações intelectuais compreendem investigações científicas (SEii1), a exemplo de pesquisas realizadas sobre grupos da fauna local, como: abelhas nativas (iniciação científica da Universidade Estadual de Pernambuco), aves de rapina (iniciação científica da Universidade Estadual de Pernambuco), borboletas e mariposas (iniciação científica da Universidade Estadual de Pernambuco), sítios arqueológicos e comunidades tradicionais (Dissertações pela Universidade Estadual de Pernambuco, Universidade Federal Rural de Pernambuco e Universidade Federal de Sergipe), além da presente tese com o foco na dinâmica Geoecológica e outros estudos realizados.

Figura 77: Pôr do sol contemplado da parte alta da bacia do Riacho de São José-PE.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.

As escolas e universidades também desenvolvem atividades de educação e treinamento ambiental (SEii2), alguns desses registros são encontrados no Instagram do Grupo do Vale de São José (@valedosaojose). Outros SE de interações intelectuais e experienciais existentes na bacia (de características dos sistemas bióticos e abióticos) são ressonantes a termos de cultura e patrimônio (SEii3) como relação de pertencimento com determinadas espécies da Caatinga, local que inviabilizam a caça, caso das Lavadeiras e dos sítios de figuras rupestres; as experiências estéticas (SEii4) com a paisagem; a relação com elementos de sistemas vivos que têm significado sagrado e religioso (SEis1), como os ramos de espécies arbóreas utilizadas em romarias e procissões e as sementes de Mucunã utilizadas em brincadeiras infantis (SEie2)

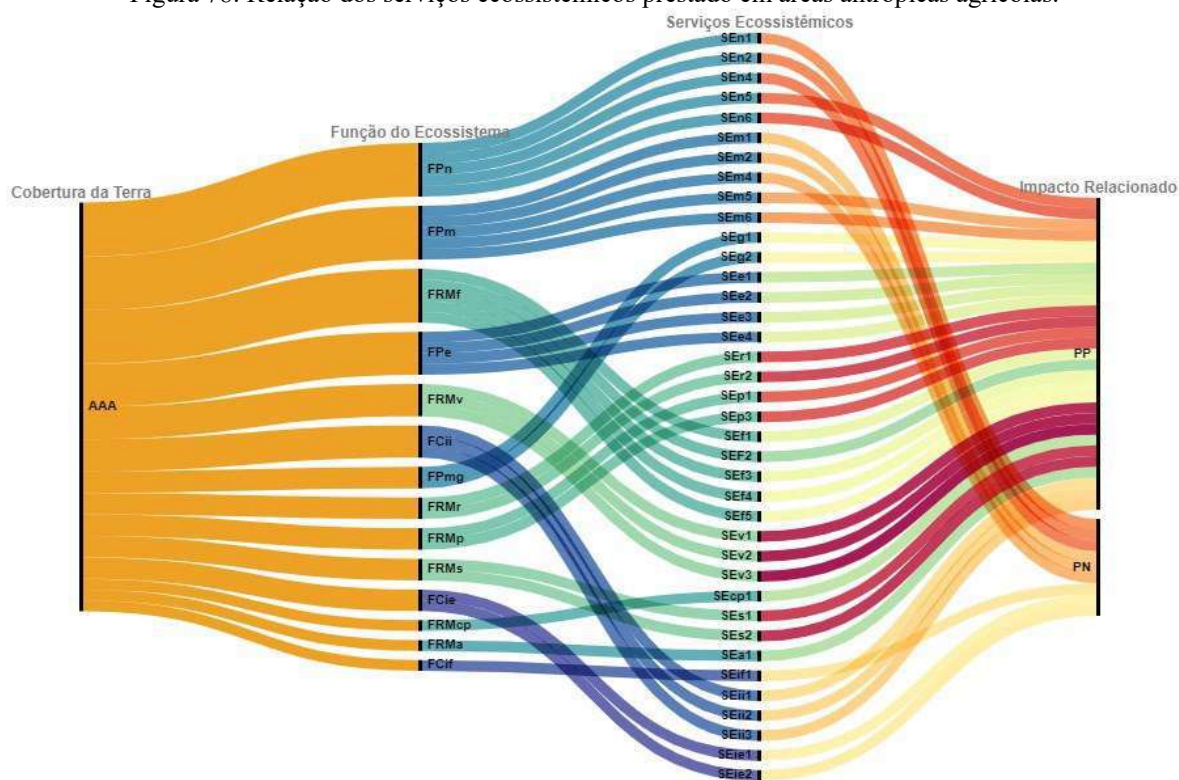
Como descrito, são muitos os SE prestados na BRSJ nas áreas de vegetação natural. Esses não são exclusivos das AVN, ocorrendo também na classe de áreas antrópicas agrícolas (Figura 78). No entanto, para AAA, a prestação de serviços de regulação e manutenção dos ecossistemas ocorrem com menor intensidade, pois na superfície terrestre predominam áreas de agricultura e pastagem.

Alguns SE não verificados nas áreas de vegetação natural existem nas áreas antrópicas agrícolas: plantas terrestres cultivadas (SEn2), a exemplo de milho, feijão, palma, entre outras; fibras e outros materiais de plantas cultivadas (SEm2); produção de material genético usado na criação de novas linhagens e variedades (SEg2), a exemplo da técnica de enxerto em palmas; manutenção de populações em viveiros (SEv3), como a criação de galináceos e algumas plantas



medicinais cultivadas nas residências; provimento de energia eólica (SEe3) e regulação dos fluxos de linha de base e ventos extremos de fluxo líquido (SEf4) devido a presença de marmitas (caldeirões) (esses dois últimos SE ocorrem, também, em outras áreas não identificadas, ou seja, solo exposto e afloramento rochoso com formação de marmitas).

Figura 78: Relação dos serviços ecossistêmicos prestado em áreas antrópicas agrícolas.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.

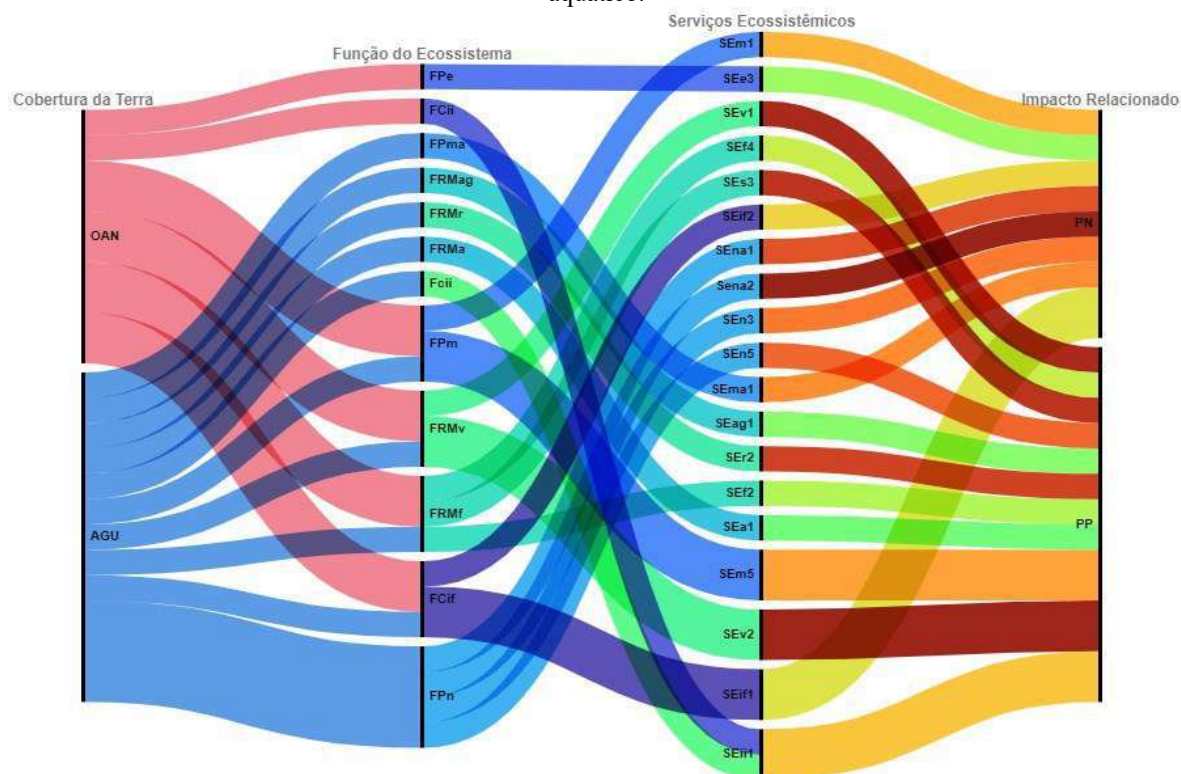
Acesso: [https://drive.google.com/file/d/1ctalKyhbQH-SN59cwDiZk3mq\\_D7T-7Jk/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1ctalKyhbQH-SN59cwDiZk3mq_D7T-7Jk/view?usp=sharing)

Os serviços culturais contidos nessa classe (AAA) são os de interações intelectuais e espirituais: SEii1, SEii2, SEii3, SEie1 e SEie2. Os quais se referem às ações diretas da relação do homem e às prestações dos SE, comuns a provimento de plantas cultivadas, a criação de animais e a instalação das torres eólicas. Além de serviços que trazem consigo alguns impactos negativos, como mencionado anteriormente, com destaque para a instalação dos parques eólicos responsáveis pelo deslocamento de pessoas, visto que o ruído provocado afeta o bem-estar humano e da fauna local, principalmente as aves.

As demais classes de cobertura da Terra, outras áreas não identificadas (OAN) e a água (AGU) (Figura 79) estão associadas a menor prestação de serviços ecossistêmicos. OAN compreende os serviços de provimento de matérias como fibras das bromeliáceas que se desenvolvem sobre rochas, água de superfície e produção de energia eólica; SE de regulação e manutenção por meio de polinização ou dispersão de gametas (SEv1) e dispersão de sementes

(SEv2) em afloramentos rochosos sobre os quais se desenvolve uma população de espécies vegetais como cactáceas e bromeliáceas, como também a retenção de fluxos líquidos devido a presença de caldeirões (SEf4).

Figura 79: Relação dos serviços ecossistêmicos prestados em outras áreas não identificadas e em ambiente aquático.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.

Acesso: [https://drive.google.com/file/d/1m-PDEu0ZV\\_eABsQHpmZyZt2RLudnpIqt/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1m-PDEu0ZV_eABsQHpmZyZt2RLudnpIqt/view?usp=sharing)

Os SE culturais, para a classe de outras áreas não identificadas, compreendem os de interações físicas, atividades ativas e passivas (SEif1 e SEif2), e interações intelectuais de Investigação científica (SEii) devido ao potencial da geodiversidade local em seus aspectos geológicos, geomorfológicos e paisagísticos (Figura 80).

Grupos de pessoas, pesquisadores ou visitantes costumam ir até alguns dos afloramentos rochosos presentes na bacia do Riacho São José para contemplar e registrar, por meio de fotografias, a paisagem e o pôr do sol. Essa ação também ocorre durante as trilhas de lazer ou expedições para investigações científicas.

Figura 80: Aspectos da geodiversidade da bacia do Riacho São José-PE.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020

Os serviços ecossistêmicos da classe água contemplam as funções de provimento, regulação e manutenção e culturais já abordados, como também se destaca os SE específicos do ambientes aquáticos, são eles: animais e plantas criados na aquicultura (SEna1 e Sena2) para nutrição, a exemplo dos peixes cará, piaba e carito (peixes das famílias Cichlidae e Characidae); produção de adubo com as vísceras dos peixes (SEma1); regulação da condição química de águas doces por processos vivos (SEag1) como a filtração feita pela espécie pasta d'água (*Pistia* sp.); animais que atuam como predador, a exemplo da espécie traíra (*Erythrinidae* sp.), carnívora que se alimenta de peixes menores e outros animais aquáticos, o que prejudica algumas espécies de peixe menores no local, como as piabas.

Devido as características intermitentes dos cursos hídricos semiáridos, esses animais só são encontrados nos reservatórios, mas em épocas de precipitação acima da média, quando ocorre o transbordamento dos reservatórios, alguns peixes são encontrados nos cursos d'água, mas caso não capturados antes das águas baixarem ao nível do leito dos rios, acabam morrendo.

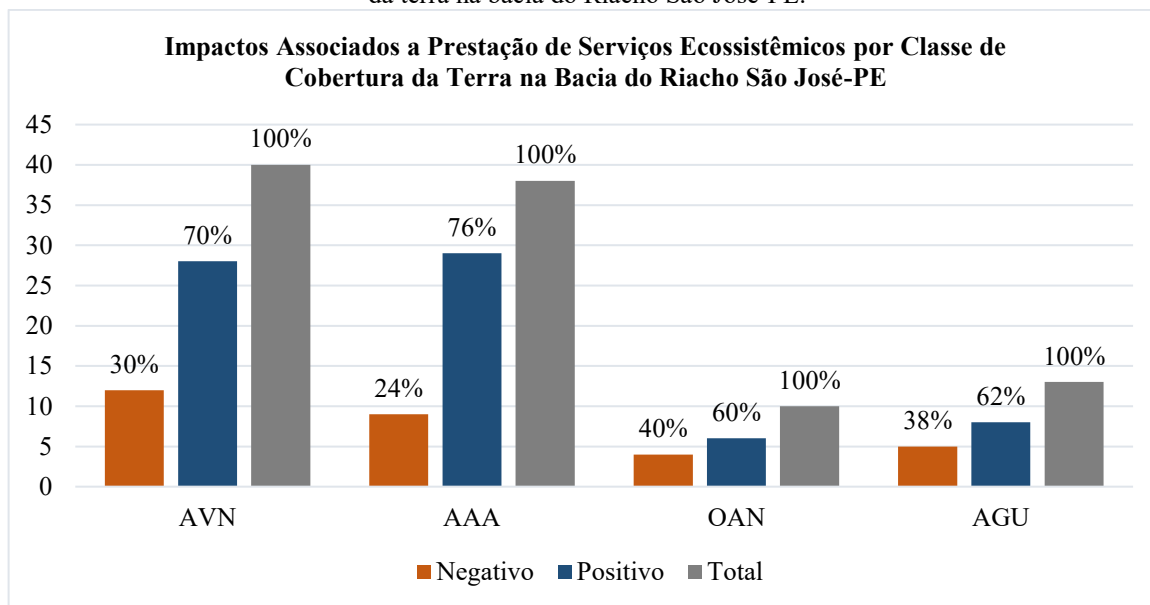
Perante a prestação dos serviços ecossistêmicos identificados na BRSJ, observa-se que os impactos associados são predominantemente positivos (Figura 79). Nessa relação, os SE que derivam impactos negativos (como o desmatamento ou a caça de animais silvestres) estão relacionados a modo como são utilizados pela sociedade.

Nesse contexto, foi verificado que é sobre as áreas de vegetação natural onde ocorre maior número dos impactos negativos, como já mencionado acima, pois das quarentas classes de SE identificadas doze tem esse respaldo na natureza. No entanto, quando pensado esse quantitativo em dados percentuais, tem-se o seguinte (conforme a figura 81): nas AVN 30% dos 40 SE derivam algum impacto negativo; nas AAA esse valor decresce para 24% do 38 SE; porém é sobre as OAN e AGU constata-se maiores alcance, 40% de 10 SE e 38% de 13 SE,



respectivamente. Essa situação denota que é sobre as classes de cobertura da terra onde se verifica a menos prestação de SE que derivam mais impactos negativos.

Figura 81: Quantificação dos impactos associados a prestação de serviços ecossistêmicos por classe de cobertura da terra na bacia do Riacho São José-PE.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.

Diante do exposto, o presente texto buscou vislumbrar que o ambiente semiárido da BRSJ compreende um sistema territorial habitado por pessoas que há anos lidam com essas especificidades do ambiente local, as quais fazem usos das potencialidades naturais, a exemplo das marmitas para manter recursos essenciais à vida, como a água, bem como dos inúmeros SE prestados.

A própria natureza em seus diversos ecossistemas, áreas de vegetação natural, antrópicas agrícolas ou sobre afloramentos rochosos desencadeiam inúmeros serviços ecossistêmicos que beneficiam direta e indiretamente a sociedade, então basta saber fazer bons usos, ou seja, usos adequados da dinâmica e das funções ecológicas que compõem o meio em que se habita para que tais serviços sejam preservados e estejam à disposição.

Assim, segue-se a linha de pensamento de Ab'Sáber (2003) de que não é preciso ensinar aos sertanejos a conviverem com a seca, mas sim dispor a eles instrumentos necessários para o desenvolvimento de atividades que o permitam prover a renda familiar, ter acesso a serviços básicos, como saúde, educação e lazer. Logo, é importante compatibilizar os modos de uso da terra e a disponibilidade de SE, evitando o esgotamento da capacidade natural do ambiente semiárido.

---

**CAPÍTULO VI**  
**INTERAÇÕES GEOECOLÓGICAS E MODELAGEM DE CENÁRIOS**  
**PROSPECTIVOS PARA A BACIA DO RIACHO SÃO JOSÉ-PE**

---

## **6 INTERAÇÕES GEOECOLÓGICAS E MODELAGEM DE CENÁRIOS PROSPECTIVOS PARA A BACIA DO RIACHO SÃO JOSÉ-PE**

Ao longo do tempo a sociedade tem modificando o estado ambiental das paisagens. Em decorrência disso, o sistema territorial do semiárido pernambucano se encontra bastante alterado em decorrência das alterações provocadas na superfície terrestre, a exemplo da remoção do componente mais visível da paisagem, a cobertura vegetal, seja para fazer uso da madeira/lenha, seja para o desenvolvimento de atividades agrícolas ou para a construção de moradias.

Essas ações caracterizam a cultura de vivências desenvolvidas com o domínio fitogeográfico da Caatinga no Nordeste brasileiro, pois, “[...] historicamente, há uma grande dependência da população, principalmente as de baixa renda, em relação ao produto florestal como fonte de energia, tanto no consumo doméstico quanto para fins econômicos” (TRAVASSOS; SOUZA, 2014, p. 330).

Embora, muitas vezes, tais mudanças só sejam observadas em sua superficialidade, as alterações no estado ambiental da paisagem refletem no funcionamento dinâmico da estabilidade e da sustentabilidade do ambiente. Por conta disso, ocasiona processos degradantes de elementos importantes da natureza, os quais são usados de modo direto ou indireto pela sociedade e contribuem tanto para o bem-estar humano quanto para a prestação de serviços ecossistêmicos.

Nesse sentido, Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2010, p. 137) entendem que “[...] degradação geoecológica se define como a perda de atributos e propriedades sistêmicas que garantem o cumprimento das funções geoecológicas e a atividade dos mecanismos de auto-regulação[...]”, ou seja, acreditam na estabilidade da paisagem em manter sua dinâmica e suas funções físicas e ecológicas.

Isso faz refletir sobre a atual realidade da Bacia do Riacho São José-PE, um sistema semiárido que, ao longo dos anos, mantém um padrão na cobertura e nos usos da terra através de atividades agrícolas e usufruto direto e indireto dos serviços ecossistêmicos. E que, recentemente, com a instalação do maior complexo eólico do estado de Pernambuco, passou a possuir novos equipamentos, fazendo uso da potencialidade natural dos ventos atuantes nas cotas mais elevadas do planalto da Borborema.

Dentro desse contexto, no presente capítulo, será apresentada a dinâmica geoecológica da BRSJ por meio das interações entre os componentes geoecológicos que caracterizam a paisagem semiárida estudada. Para isso, fez-se a compartimentação geoecológica da bacia e

analisou-se o estado ambiental da paisagem; construiu-se perfis geoecológicos que refletem a organização vertical da paisagem, e mensurou-se adequabilidade geoecológica refletindo as interações verticais e horizontais; por fim, o último tópico expõe as modelagens preditivas da cobertura da terra a partir de conjuntos de cenários prospectivos com fins conservacionistas, pensados no planejamento ambiental da paisagem semiárida.

## **6.1 Compartimentação Geoecológica e Estado Ambiental da Paisagem Semiárida da Bacia do Riacho São José-PE**

Dentre as possibilidades de estudos geoecológicos, existe a possibilidade de se compartimentar a paisagem para uma maior apreensão dos fenômenos em análise. Nesse sentido, a Bacia do Riacho São José é bem demarcada territorialmente em duas unidades geomorfológicas: o pediplano central da Borborema e o pediplano do baixo São Francisco. Isso caracteriza terrenos aplainados na porção a montante e a jusante da bacia e formas de dissecação estrutural com feições de topo tabulares no trecho do médio curso.

Nesse sentido, pode-se dizer que as características geomorfológicas e morfométricas evidenciadas nos mapas de declividade e altimetria (Capítulo III) possibilitaram compartimentar a BRSJ em três unidades geoecológicas com funções e dinâmicas complementares, que se relacionam entre si e diretamente refletem nos modos de apropriação e nos usos da terra.

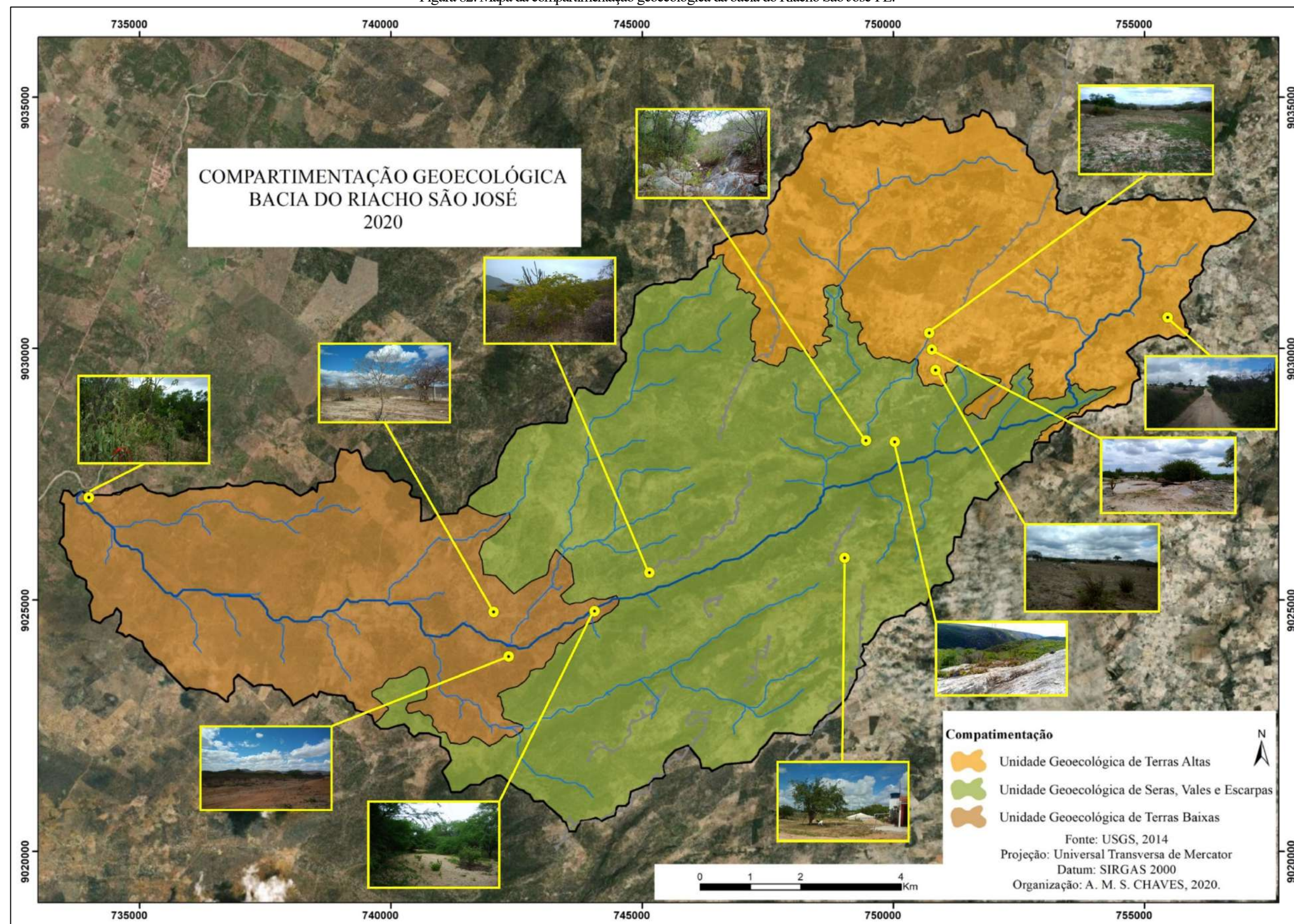
Farias (2015) também adotou “critérios geomorfológicos, agrupadas por características homogêneas das propriedades naturais e de funcionamento da paisagem” para realizar a compartimentação geoecológica da bacia hidrográfica do rio Palmeira-CE.

Perante essas especificidades, fez-se a compartimentação geoecológica a partir de unidades tipológicas da paisagem, ou seja, “[...] determinar o sistema de divisão territorial dos objetos semelhantes ou análogos de acordo com determinados traços comuns” (RODRIGUEZ; SILVA, CAVALCANTI, 2010, p. 77).

Tais aspectos, intrínsecos à realidade físico-natural e socioambiental, possibilitaram delinear três unidades tipológicas para a BRSJ, foram elas: Unidade Geoecológica de Terras Altas (UGEO-01), compreendendo cotas acima de 870 metros de altitude com relevo plano a ondulado; Unidade Geoecológica de Serras, Vales e Escarpas (UGEO-02), áreas com relevo movimentado e dissecado; Unidade Geoecológica de Terras Baixas (UGEO-03), terreno aplainado abaixo de 550 metros de altitude com relevo plano a ondulado (Figura 82 e Tabela 28).



Figura 82: Mapa da compartimentação geocológica da bacia do Riacho São José-PE.



Elaboração: A. M. S. CHAVES, 2020.



Tabela 28: Estado ambiental da paisagem da bacia do Riacho São José-PE.

Unidade Geocológica	Estado Ambiental da Paisagem				
	Area (Km² /%)	Características do Terreno	Níveis de alteração	Nível de degradação	Estabilidade da paisagem
UGEO-01	37,35 Km² (25,46%)	Terreno aplainado sobre as cotas mais elevadas da bacia, atingindo até 890 m de altitude, com formação de planos inclinados e levemente côncavos, configurando relevo plano a ondulado constituído por neossolos regolíticos. No limite Oeste, presença de neossolos litólicos, solos formados sobre o complexo geológico Belém do São Francisco e a unidade litoestratigráfica suíte intrusiva leucocrática paraluminosa e rede hidrográfica intermitente. A cobertura vegetal encontra-se bastante modificada, existindo apenas alguns resquícios de vegetação de brejo de altitude, nesta há a coexistência de atividades antrópicas agrícolas.	1985: Muito alterado - 73% 1995: Muito alterado - 73% 2005: Alterado - 53 % 2015: Muito alterado - 79%	<b>Degradada e alta degradação</b> A paisagem encontra-se quase totalmente modificada, destacando-se a substituição da vegetação primária por pastagem e agricultura, acentuando o processo de desmatamento da vegetação primária e os processos erosivos, principalmente em áreas de solo exposto e próximo às estradas. Isso faz refletir em modificação direta nas funções ecológicas da paisagem. É comum a caça ilegal de animais silvestres. Depois do ano de 2013, a construção dos complexos eólicos corroborou com a degradação, mediante a abertura de novas estradas e a planificação de trechos escolhidos para instalação das torres. Essa unidade compreende maior ocupação humana na bacia concentrada às margens da BR 424 e a sudeste, onde se encontra comunidade rural, oficinas, borracharia, supermercados, escolas, entre outros estabelecimentos.	Instável e crítica
				<b>Baixa degradação e degradada</b> Devido as especificidades geológicas, geomorfológicas e pedológicas da paisagem, é a unidade geocológica menos alterada em seu estado natural, configurada como baixa degradação e pouco alterada. É comum áreas com solo exposto e afloramentos de rochas metamórficas e ígneas. Nas encostas íngremes, se mantém a vegetação primária, principalmente as espécies arbóreas e arbustivas, o que reflete no desenvolvimento das funções ecológicas, embora seja comum o desmatamento da vegetação. Devido a dissecação do relevo, ocorre o desencadeamento de processos erosivos naturais nas partes altas e acumulação nas porções baixas (em eventos extremos de precipitação já se registrou deslizamento de massa). Nessa área, também ocorre a caça ilegal de animais silvestres e a partir do ano de 2013, nas cotas mais elevadas, foram construídos parques eólicos, corroborando assim na degradação ambiental. Compreende baixa ocupação humana, cujos domicílios encontram-se normalmente afastados.	
UGEO-02	73,21 Km² (49,91%)	Terreno constituído, principalmente, por serras, vales e escarpas, caracterizando um relevo movimentado que varia do ondulado, forte ondulado, montanhoso e escarpado sobre o embasamento cristalino do complexo geológico Belém do São Francisco e a unidade litoestratigráfica suíte intrusiva leucocrática paraluminosa; formado proeminentemente de neossolos litólicos. Apresenta rede hidrográfica intermitente bem delimitada em vales profundos, no formato “V” e “U” e formação de encostas íngremes. Devido as especificidades geológicas e geomorfológicas, predomina a cobertura vegetal primária, arbórea e arbustiva, intercaladas com a presença de afloramento rochoso e formações rupestres. Compreende maior concentração de sítios arqueológicos e de cachoeiras. Por compor terrenos desfavoráveis ao desenvolvimento de atividades antrópicas, ocorre principalmente a criação de animais soltos na caatinga e a presença de parques eólicos nos topos mais elevados.	1985: Alterado - 43% 1995: Pouco Alterado - 34% 2005: Alterado - 47% 2015: Alterado - 41%		Mediamente estável e instável
UGEO-03	36,13 Km² (24,63%)	Terreno aplainado com cobertura detrítica, compreendendo as menores cotas altimétricas da bacia, abaixo de 550 m de altitude; com formações de planos inclinados e levemente côncavos, cuja predominância é o relevo plano e suave ondulado sobre os complexos geológicos do Belém do São Francisco e Cabrobó sobre planossolo háplico. A rede hidrográfica é intermitente, cuja mata ciliar é composta basicamente pela espécie algaroba, sendo que a cobertura vegetal primária é composta por espécies arbóreas e predomínio das arbustivas (já foi em boa parte substituída por área de pastagem, plantação e palma forrageira, bem como a criação de animais soltos nas áreas de caatinga). A localização da unidade fica a sotavento do Planalto da Borborema e apresenta características do Agreste seco.	1985: Alterado - 47% 1995: Alterado - 38% 2005: Muito alterado - 80% 2015: Muito alterado - 68%	<b>Degradada a alta degradação</b> Por apresentar características semelhantes a UGEO01, a paisagem se encontra bastante modificada, mas devido a fatores orográficos, estando a sotavento, as precipitações são mais escassas, o que fez dessa unidade ser quase totalmente utilizada para a pecuária de extensão e plantação de palma forrageira. Os processos degradantes são o desmatamento, a substituição da vegetação primária e, consequentemente, a diminuição das funções ecológicas e processos erosivos. A ocupação humana é baixa e os domicílios são afastados.	Instável e crítica
Total	146,69 Km² (100%)	***	100%	***	***

Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.



Em termos quantitativos e qualitativos, as unidades geoecológicas não são iguais, pois configuram diferenças no terreno da bacia estudada e revelam o estado ambiental da paisagem em estável, instável e crítico: a UGEO-01 compreende 37 km<sup>2</sup> (25,46%); a UGEO-02 ocupa maior extensão, com aproximadamente 73 Km<sup>2</sup>, o que configura quase 50% da área territorial; e a UGEO-03 36 Km<sup>2</sup> (24,63%), conforme apresentado na tabela.

Para tanto, é importante compreender que a bacia estudada compreende uma paisagem antroponatural, uma vez que compreende um ambiente rural, cujas alterações são feitas, principalmente, nos componentes abióticos, configurando a substituição da vegetação natural por áreas antrópicas agrícolas. Isso reflete em uma cobertura natural bastante modificada, no entanto, ainda conserva a capacidade natural de recuperação, uma vez que sejam cessados os processos antrópicos atuantes.

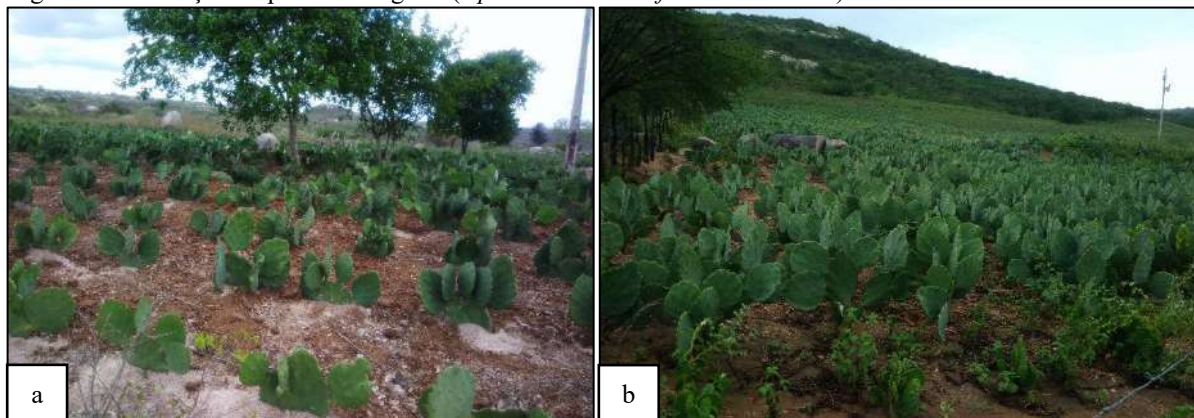
Como constatado no capítulo V, a ocupação e os usos do território da BRSJ é mais intenso a montante e a jusante da bacia (UGEO-01 e UGEO-03). Por sua vez, no médio curso, devido as características físicas e naturais da estrutura dissecada e modelada de morros, serras e vales, a UGEO-02 denota a porção da bacia menos alterada, pois não é área favorável às atividades agrícolas comuns na região.

De modo geral, pode ser observado nas unidades geoecológicas da bacia do Riacho São José que, ao longo do tempo, a vegetação primária foi sendo substituída por atividades antrópicas agrícolas, fato que contribui no desencadeamento de processos degradantes da paisagem, ocasionando assim estados ambientais instáveis e críticos. Essa realidade é comum para o ambiente semiárido, como já apresentado em Accioly *et al.* (2016), MMA (2020) e Seabra *et al.* (2014)

Isso acontece porque a substituição de vegetação (natural, arbórea e arbustiva, principalmente) por uso agrícola (pastagem e plantação de feijão, milho, palma) tende a diminuir, com o passar do tempo, o desenvolvimento das funções ecológicas de regulação e manutenção do solo interferem no balanço energético da entrada e saída de energia e matéria.

Nesse contexto, tendo como exemplo a plantação de palma forrageira (cultura frequentes nas unidades geoecológicas (Figura 83)), verifica-se que esse tipo de uso não protege o solo em toda integridade, deixando-o exposto à incidência direta dos raios solares e do impacto provocado pelas gotas das chuvas. Isso provoca processos degradantes, como o aumento da erosão e lixiviação do solo, empobrecendo a sua camada superficial e atuando no assoreamento dos cursos hídricos. Constatações semelhantes ocorrem em áreas de pastagem degradada (Figura 84).

Figura 83: Plantação de palma forrageira (*Opuntia cochenillifera* / *Cactaceae*) na bacia do Riacho São José-PE.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2019; 2020.

(a) Unidades geoecológicas 01 e (b) Unidades geoecológicas 03.

Figura 84: Área com gramíneas utilizadas como pastagem degradada na unidade geoecológica 01.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.

Por sua vez, as áreas com vegetação primária ou secundária, arbórea, arbustiva e herbácea conseguem manter as funções ecológicas e o desenvolvimento de ciclos geoquímicos importantes para a qualidade e conservação do solo, o protegendo da incidência direta dos raios solares e do efeito “*splash*” das gotas da chuva, evitando a desagregação de sedimentos, além de facilitar o processo de infiltração da água e mantendo a umidade.

Tais mudanças paisagísticas corroboram para o atual estado ambiental da paisagem da bacia estudada. Vale ressaltar que algumas observações, no tocante aos dados mensurados a partir de imagens de satélite Landsat 5 e 8 (as quais apresentam resoluções espaciais de 30 metros), podem desfavorecer algumas especificidades locais. Diante disso busca-se amenizar essas questões por meio dos registros fotográficos obtidos durante as atividades de campo.

Em decorrência dessas observações, foi verificado nas atividades de campo, ocorridas de 2017 a 2020, que o processo de desmatamento ocorre em toda área da bacia, sendo mais intenso na UNGEO-01 e UNGEO-03. A exemplo da UGEO-01, o relevo aplainado nos topos dos morros do planalto da Borborema, com solo mais bem desenvolvido, favorece a supressão da cobertura vegetal para o desenvolvimento dos diversos usos antrópicos (Figura 85).

Figura 85: Vestígios de desmatamento na unidade geoecológica 01.



Fonte A. M. S. CHAVES, 2018.

Assim, pode ser observado na figura apresentada, em primeiro plano da paisagem área de vegetação rasteira, pastagem degradada com vestígios de vegetação não utilizada nas atividades antrópicas. No segundo plano paisagístico, limite entre as UGEO-01 e UGEO-02, após afloramentos rochosos, verifica-se feições de encostas íngremes compostas por vegetação primária arbóreo e arbustiva com instalação de torres eólicas nos topos tabulares dos morros.

O contexto apresentado caracteriza poucas áreas com vegetação primária na UGEO-01, as quais compreendem reduto de vegetação semidecidual alto Montana, com *Hymenaea courbaril* e *Clusia nemorosa* e caatinga arbórea e arbustiva, representada principalmente pela *Mimosa tenuiflora* (Figura 86).

Essa área faz parte de um brejo de altitude, segundo Ab'Sáber (2003), serras úmidas ou ilhas de umidades que caracterizam um ambiente com floresta tropical que contrasta com a vegetação de caatinga circundante. Espaço esse bastante modificado pela apropriação antrópica para o desenvolvimento de atividades socioeconômica devido as características climáticas e a qualidade dos solos locais.



Figura 86: Reduto de vegetação de brejo de altitude na unidade geocológica 01.



Fonte A. M. S. CHAVES, 2019.

A UGEO-02 (Figura 87) se destaca por apresentar uma paisagem de serras, vales e escarpas. Embora compreenda estado ambiental alterado e degradado, as encostas apresentam-se conservadas com vegetação primária e secundária, configurando áreas com poucas alterações e baixa degradação, além de compor a unidade com menos modificação, a qual é comum a presença de afloramentos rochosos. Exceção ocorre nos topos dos morros mais planos, como já mencionado.

Figura 87: Paisagem panorâmica de parte da unidade geocológica 02.



Fonte A. M. S. CHAVES, 2019.

Observa-se na figura acima a presença de canal de água construído para todas as torres eólicas com a finalidade de direcionar o fluxo hídrico das águas pluviais para o fundo dos vales. Tal mecanismo tem a finalidade de evitar processos erosivos no patamar das torres, mas acaba

direcionando água de forma concentrada na encosta, formando caminhos com maior concentração de sedimentos da parte alta para os cursos hídricos dos vales.

Na UGEO-03, a cobertura vegetal primária permanece sobre encostas e nas matas de galerias dos cursos hídricos (Figura 88), nas demais áreas predominam atividades antrópicas (como mencionado anteriormente), plantação de palma forrageira, milho e pecuária extensiva.

Figura 88: Caatinga arbórea e arbustiva na unidade geocológica 03.



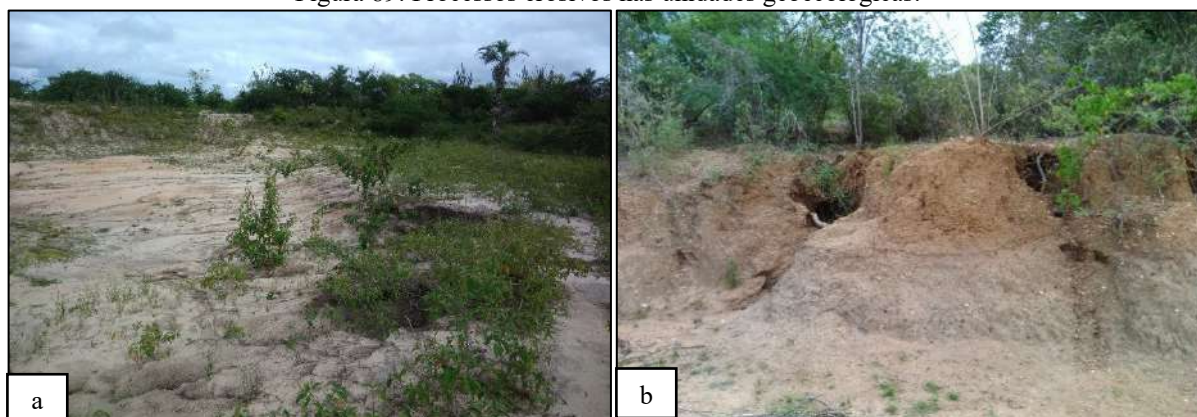
Fonte A. M. S. CHAVES, 2019.

Vale lembrar que essas modificações na cobertura da Terra são comuns aos modos de usos antrópicos desenvolvidos no ambiente rural do Agreste pernambucano, ou seja, a substituição de vegetação por áreas agrícolas. Processo histórico que tem contribuído para o desencadeamento e/ou aceleração de processos erosivos nas unidades geocológicas (Figura 89 a e b), como também no assoreamento dos cursos hídricos, os quais são intermitentes.

Os processos degradantes interferem na permanência da água na parte superficial dos leitos hídricos, diminuindo a lamina de água, devido ao excesso de sedimentos acumulado, como constatado em estruturas antigas de barramento em cursos d'água da BRSJ (Figura 90).



Figura 89: Processos erosivos nas unidades geoecológicas.



Fonte A. M. S. CHAVES, 2019.

(a) Unidades geoecológicas 01 e (b) unidade geoecológica 03.

Figura 90: Área de assoreamento de curso hídrico a montante do barramento na unidade geoecológica 02.



Fonte A. M. S. CHAVES, 2019.

Outras ações degradantes observadas nas unidades geoecológicas referem-se ao descarte irregular de resíduos sólidos, visto não haver coleta desse material. Isso faz com que a população faça o descarte e a combustão dos resíduos em áreas inadequadas, a exemplo: dentro do início do principal vale da BRSJ (Figura 91).

No contexto geral, observa-se que os processos impactam e degradam o estado ambiental da BRSJ estão diretamente relacionadas as modificações antrópicas sobre a paisagem ao longo do tempo. Essa situação também foi verificada para outros ambientes, como a bacia do Rio Palmeira-CE estudada por Farias (2015) e no litoral Sul de Sergipe na pesquisa de Oliveira (2013).



Figura 91: Descarte irregular de resíduos sólidos na cabeceira do vale da bacia do Riacho São José na unidade geoecológica 01.

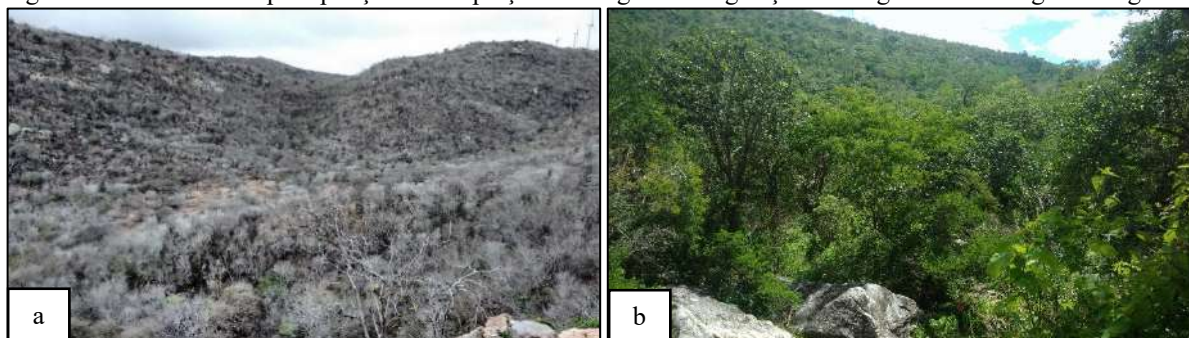


Fonte A. M. S. CHAVES, 2019.

Para além dos referidos processos degradantes apresentados, também ocorre, nas áreas de vegetação natural, a caça e a captura ilegal de animais silvestres, além do uso de agrotóxico nas lavouras. Tais ações refletem o estado ambiental da paisagem: degradada e crítica. Mas, vale ressaltar que, deve-se considerar que os usos humanos são distintos dentro das unidades geoecológicas, refletindo em níveis de alterações e processos degradantes em diferentes intensidades. Exceção nas áreas de vegetação primária que proporcionam maior estabilidade ao estado ambiental da paisagem.

A esse respeito, é importante entender que, no semiárido, algumas mudanças no estado ambiental da paisagem são regidas por fatores periódicos (regulares ou não), como a sazonalidade de tempos climáticos e a capacidade adaptativa e fenológica da vegetação, pois, a depender da intensidade e distribuição das precipitações, o florescimento da caatinga ocorre em distintos períodos do ano (Figura 92).

Figura 92: Influência da precipitação na adaptação fenológica da vegetação caatinga na unidade geoecológica 02



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2017; 2018.

(a) Maio de 2017 e (b) maio de 2018.

Nesse contexto, entende-se o estado ambiental da paisagem como resultante dos processos interativos entre os componentes geoecológicos e as ações antrópicas nos modos de apropriação e transformação da superfície terrestre, o que possibilita identificar os níveis de modificações na paisagem (informações úteis ao planejamento ambiental do semiárido).

De acordo com Oliveira (2013), a análise do estado ambiental da paisagem pode ser direcionada ao ordenamento do território, pois possibilita identificar no terreno os pontos de maiores ou menores restrições aos usos antrópicos. Situação a ser apresentada ao logo desse capítulo sobre as interações geoecológicas da BRSJ, os níveis de adequabilidade e os cenários.

## **5.2 Interações Geoecológicas na Paisagem da Bacia do Riacho São José: perfis e níveis de adequabilidade**

As interações geoecológicas da bacia do Riacho São José-PE refletem os estados ambientais das paisagens passadas, atuais e futuras, compreendendo cenários resultantes das derivações antropogênicas desencadeadas sobre os componentes geoecológicos. Desse modo, pensar assim é vislumbrar as relações estabelecidas na estrutura vertical da paisagem.

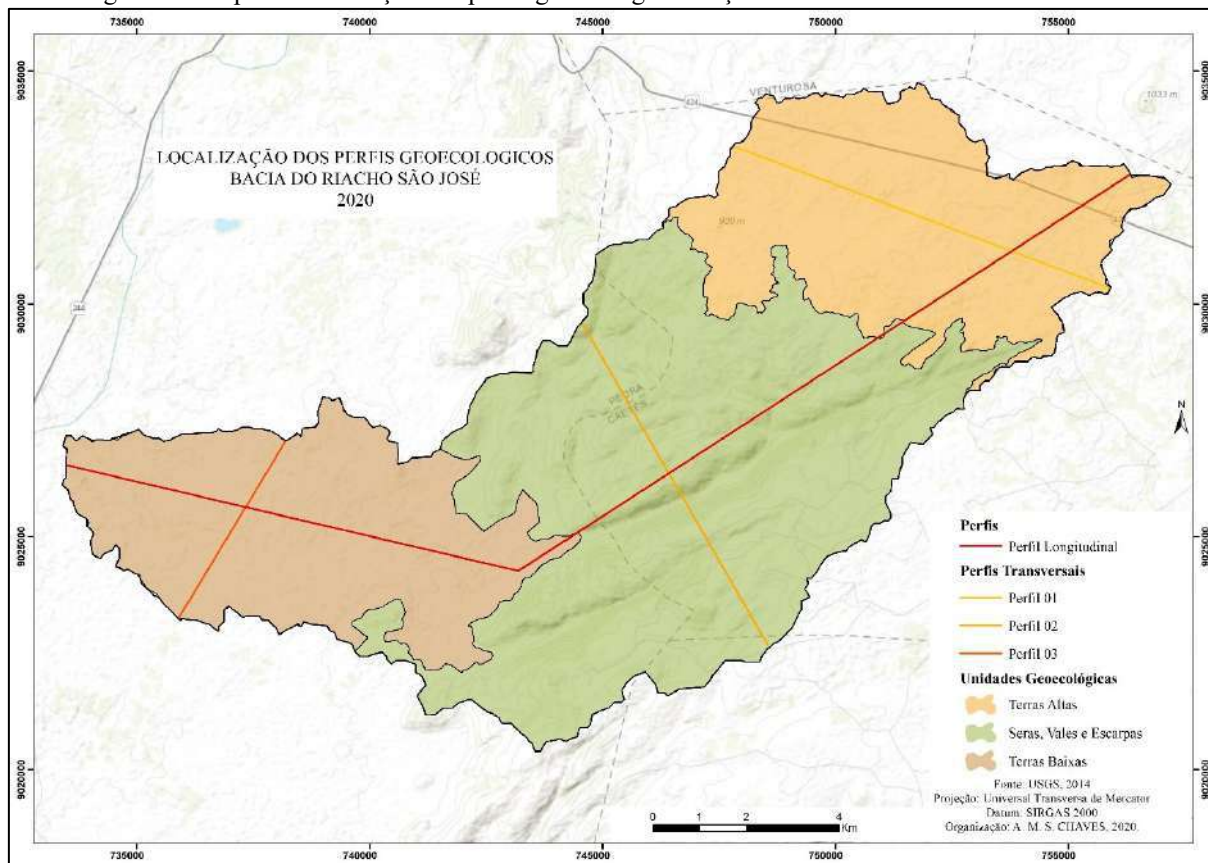
Para isso, sobre a estrutura horizontal da paisagem (compartimentação geoecológica da BRSJ), foram estabelecidos quatro perfis: três transversais (01, 02 e 03) e um longitudinal (04). Os três primeiros contemplam a compartimentação geoecológica da paisagem de modo individual: perfil 01 sobre UGEO-01 de terras altas; perfil 02 sobre a UGEO-02 serras, vales e escarpas; perfil 03 sobre UGEO-03 terras baixas. Por seu turno, o quarto perfil perpassa pelas três unidades geoecológicas (Figura 93).

A utilização da técnica de construção de perfis geoecológicos foi escolhida porque permite colocar em tela as condições ambientais da paisagem investigada, correlacionando a base cartográfica por meio de transectos (os quais compõem os perfis), permitindo realizar uma leitura horizontal e vertical, de modo integrado, das informações cartográficas para interpretar as condições ambientais (MANOSSO; NÓBREGA, 2008; OLIVEIRA; MARQUES NETO, 2013; MEZZOMO; GHISSE; CAMPOS, 2014; JANSEN, 2014).

Os transectos delimitados sobre a estrutura vertical da paisagem da BRSJ coloca em evidência as distintas camadas que os constituem. Nessa estrutura, a base dos perfis é alicerçada pelos complexos geológicos. Desse modo, tem-se o Complexo do São Francisco (CSF), a Suíte Intrusiva Leucocrática Peraluminosa (SILP) e o Complexo Cabrobó (CCa). Em seguida, há uma camada de formas e feições geomorfológicas: Pediplano Central da Borborema (PCB), as unidades Pediplano Arenoso (PA) e as Serras e Serrotes (SE); Pediplano do Baixo São Francisco e as unidades Pediplano Arenoso-argiloso (PAa) e Pediplano Argiloso (PAg). Em

sua superfície pedológica apresenta: Neossolo Regolítico (RR), Neossolo Litólico (RL) e Planossolo Háplico (SX). Acima da superfície pedológica, se intercalam as formações de vegetação e os usos da terra: Áreas Antrópicas Agrícolas (AAA), Vegetação Arbórea Arbustiva (VAA) e Vegetação Arbórea, Arbustiva e Rupestre. Por fim, tem-se os condicionantes climáticos conforme a espacialização feita do balanço hídrico.

Figura 93: Mapa de localização dos perfis geocológicos traçados na bacia do Riacho São José-PE.



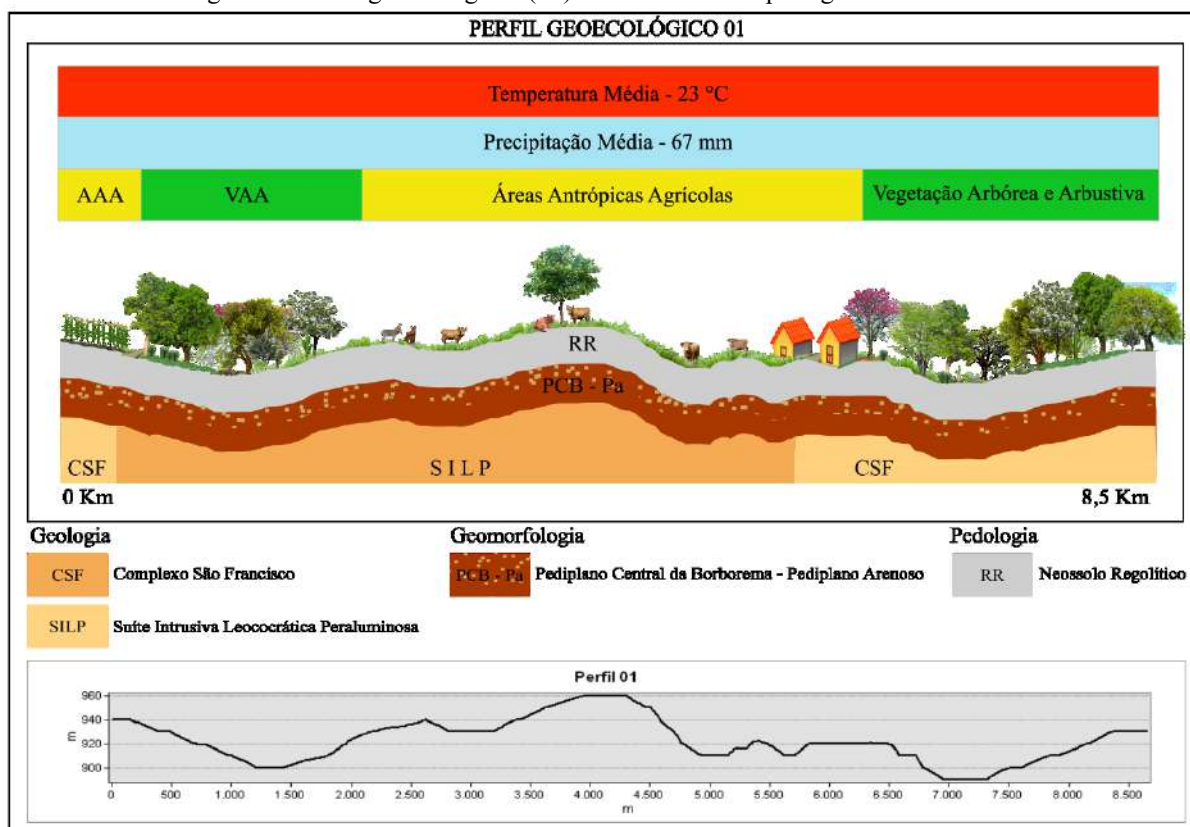
Elaboração: A. M. S. CHAVES, 2020.

Em síntese, os perfis são baseados nos mapas apresentados nos capítulos três (Caracterização geocológica da Bacia), quatro (no tocante a espacialização da vegetação) e no capítulo cinco (mapeamento de cobertura da Terra), pois essas informações, trabalhadas ao longo da tese, possibilitaram vislumbrar a organização vertical da paisagem semiárida da BRSJ.

O primeiro perfil (Figura 94) foi construído sobre terrenos de aplainamentos da UGEO-01, compreendendo percurso transversal de 8,5 Km de comprimento no sentido Sudeste para Noroeste. A base geológica compreende o Complexo São Francisco (CSF) nos 0,40 Km iniciais e nos 2,80 Km finais, ficando a porção central desse perfil alicerçada na Suíte Intrusiva Leucocrática Peraluminosa (SILP), com extensão de 5,30 Km. As principais classes de rochas são as metamórficas e ígneas.



Figura 94: Perfil geoecológico (01) sobre unidade da paisagem de terras altas.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.

Por ser área de aplainamento sobre Pediplano Arenoso do Planalto da Borborema (PCB-PA) formada por neossolo regolíticos (RR), receber umidade a barlavento em altitudes acima de 8,50 metros com temperatura média de 23°C e sofrer precipitação média anual de 67 mm com maior incidência entre maio e julho, a cobertura vegetal predominante deveria ser mata de atitude e caatinga arbórea, demarcando bem a transição Agreste pernambucana. Porém, dessa área existe apenas redutos, pois o desenvolvimento de atividades agrícolas a substituiu quase que completamente.

Como se observa, na paisagem ao longo do perfil 01, a cobertura vegetal e os usos antrópicos se intercalam. Inicialmente se tem área agrícola representada na plantação de milho, separada de um reduto fitogeográfico por uma estrada de Terra (Figura 95). Na sequência ocorre pastagem, residências e vegetação arbórea e arbustiva.

O perfil 02 (Figura 96), também traçado de Sudeste a Noroeste, apresenta 8 Km de comprimento e está sobre a unidade geoecológica 02, serras vales e escarpas. A base geológica é exclusivamente o Complexo São Francisco em estrutura dobrada, formando relevo movimentado com Serras, Vales e Escarpas (SE) em 5,9 Km do perfil e Pediplano Arenoso (PA) a Sudeste com 2,1 Km, trecho de menor declividade.

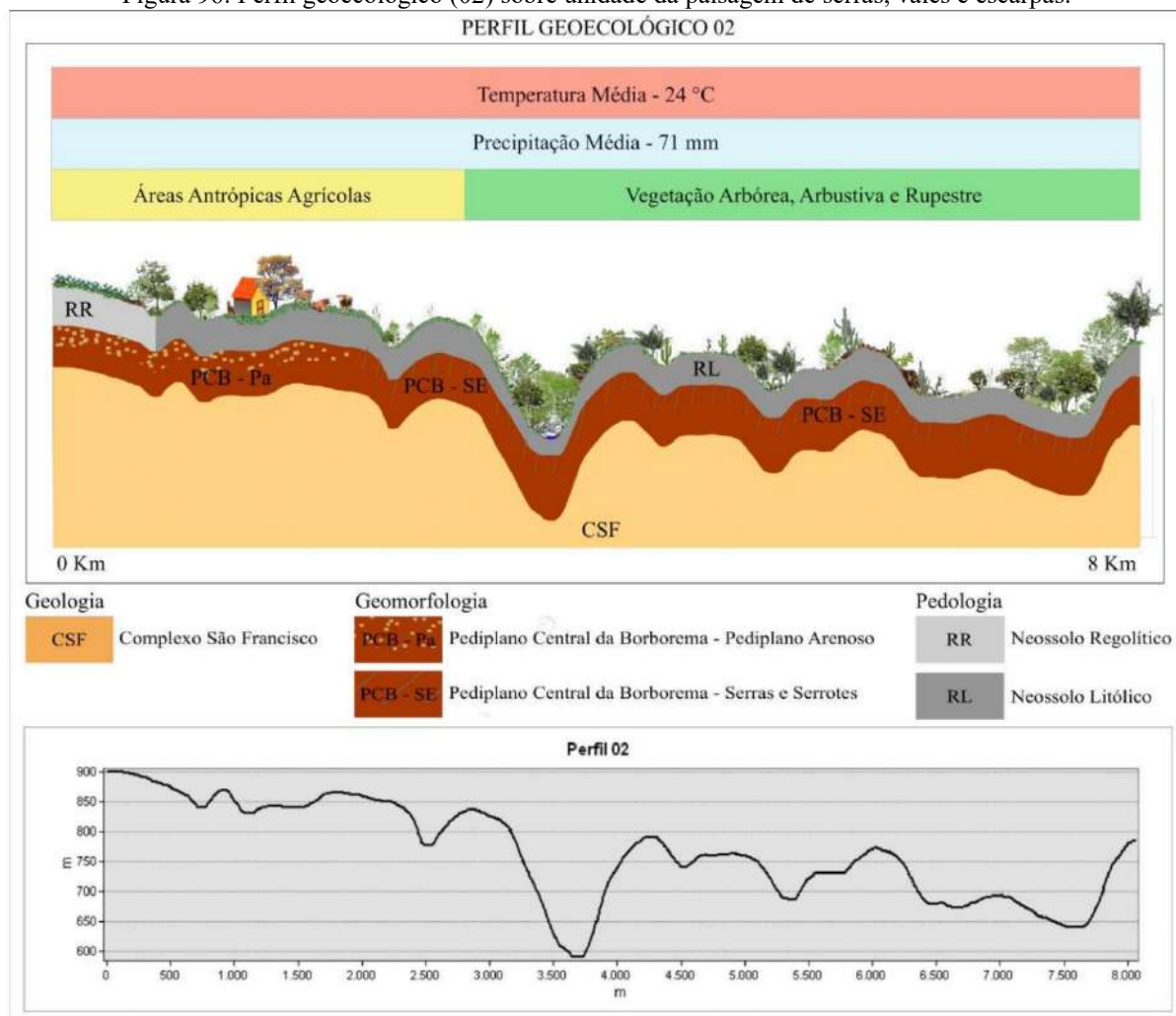


Figura 95: Área agrícola a esquerda e vegetação de brejo de altitude a direita.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2019.

Figura 96: Perfil geoecológico (02) sobre unidade da paisagem de serras, vales e escarpas.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.

A pedologia do segundo perfil compreende 0,79 km de Neossolo Regolítico (RR) e 7,21 Km de neossolo Litólico (RL), sendo este pedregoso e pouco desenvolvido, mas comum às características geológicas dobradas do embasamento cristalino. Vale mencionar que a cobertura da Terra predominante são as áreas de vegetação arbórea, arbustiva e formações rupestres sobre os afloramentos rochosos.

No perfil 02 fica clara a relação estabelecida entre o contexto geomorfológico, o solo, a formação vegetação e os usos antrópicos desenvolvidos para o ambiente semiárido. Neste, os condicionantes climáticos, por compreender trecho de descida do Planalto da Borborema para a Depressão Sertaneja, a sotavento, foi constatado no balanço hídrico precipitações anuais médias de 71 mm (consideradas irregulares e mal distribuídas) e temperaturas médias de 24 °C.

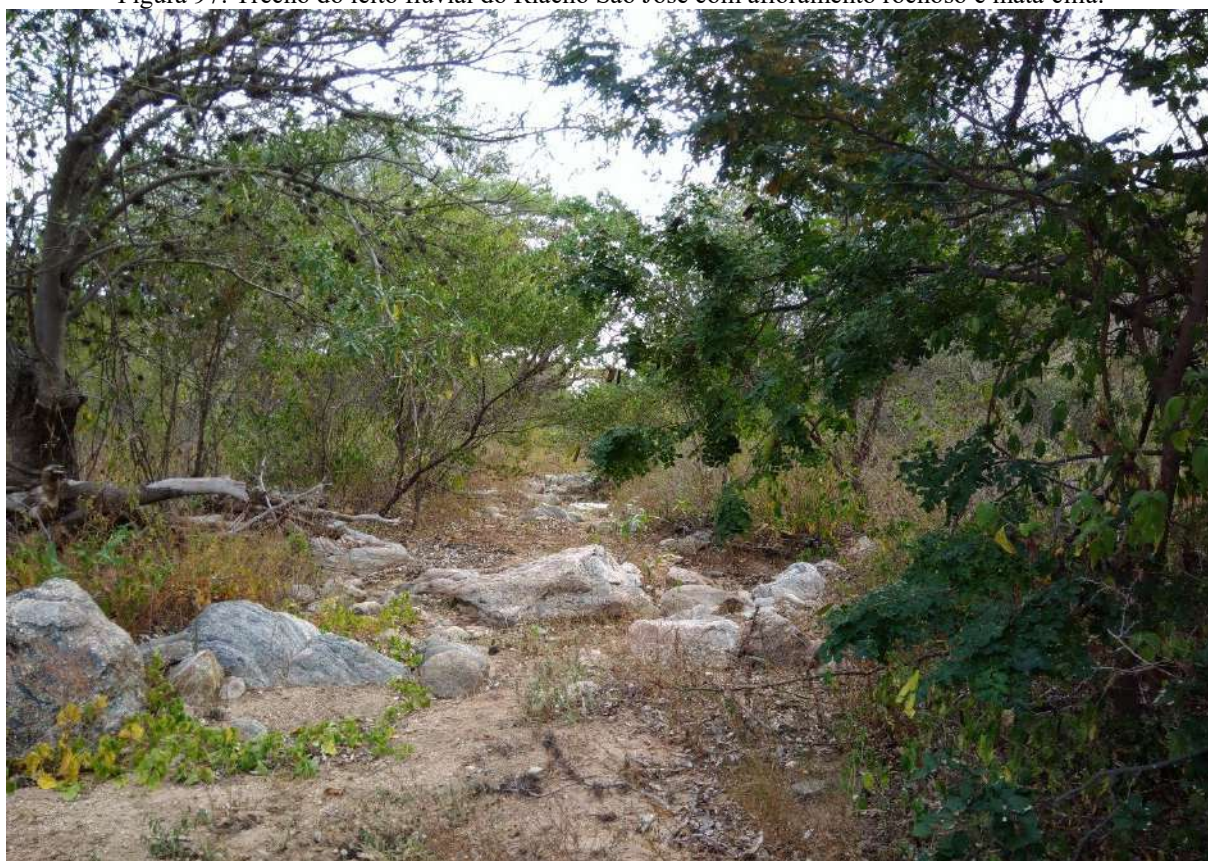
Também, observa-se que as interações entre geologia e pedologia configuram solo que possibilita o desenvolvimento de atividades agrícolas, a exemplo da plantação de palma forrageira, cultura bastante utilizada para alimentação animal nas épocas secas. Já sobre os neossolos litólicos, tem-se área de habitação e pecuária, mas devido a pouca profundidade e a presença constata de afloramento rochoso, predominam na sequência do perfil a vegetação arbórea, arbustiva e formações rupestres, com destaque nas encostas dos vales.

É sobre o transecto do perfil 02 que se encontra o vale mais profundo da bacia, onde localiza-se o leito fluvial do Riacho São José (Figura 97), o qual apresenta afloramentos rochosos, mata ciliar e na maior parte do ano sem águas superficiais, fato esse que leva as pessoas a perfurarem poços artesianos ao leito do riacho.

O terceiro perfil (Figura 98) foi traçado no sentido Sudoeste a Nordeste, compreende 4,4 Km de comprimento e está localizado na unidade geoecológica 03. A estrutura geológica é o Complexo Cabrobó (CCa) com afloramento de rochas metamórficas, relevo com superfície aplainada do Pediplano do Baixo São Francisco, subdividido intercaladamente em Pediplano Arenoso-argiloso (PAa) com 3,3 Km de extensão (PAa) e 1,1 Km de Pediplano Argiloso (PAg).

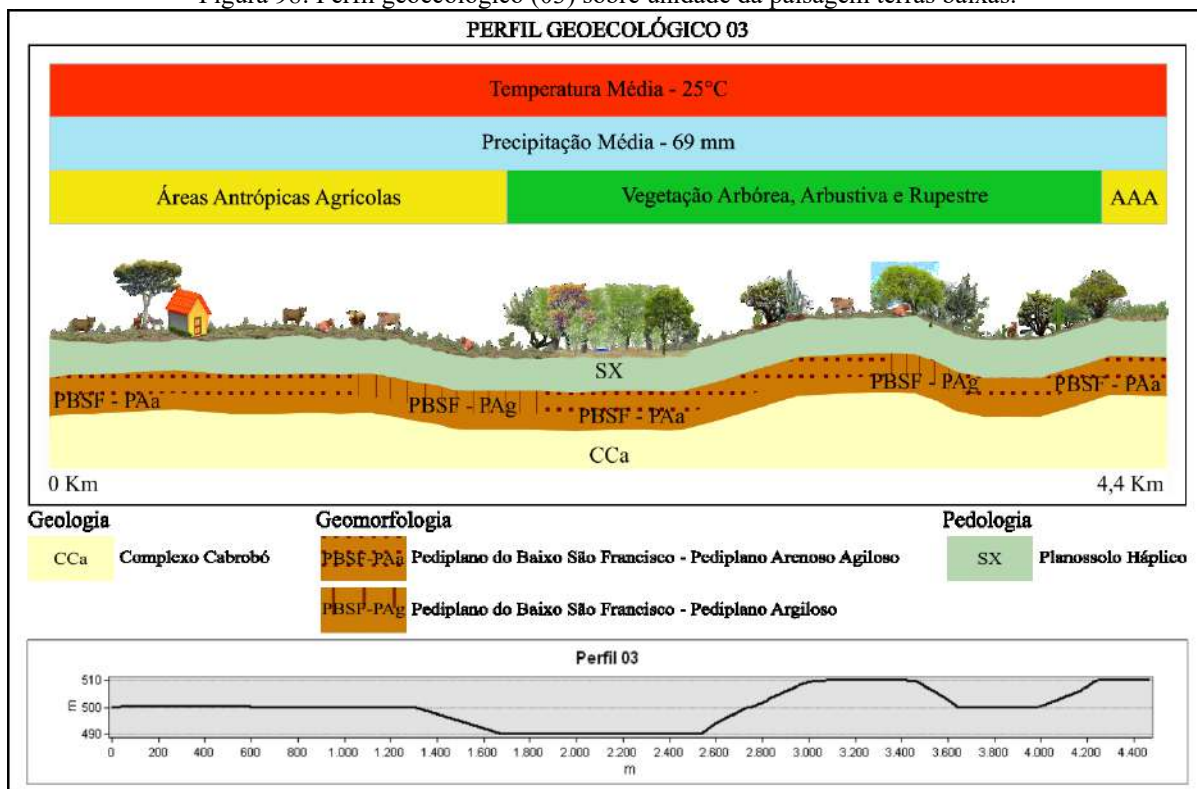
A pedologia compreende o Planossolo Háptico (SX), sobre o qual a vegetação primária foi modificada, sendo substituída principalmente por áreas de pastagem (pecuária de extensão). Na área ainda existe vegetação primária e secundária conservada, mas é comum a criação de animais soltos. No tocante aos condicionantes climáticos, a temperatura média anual é de 25°C e apresenta precipitações médias de 68 mm, sendo que essas precipitações ocorrem de forma concentrada em poucos dias no ano.

Figura 97: Trecho do leito fluvial do Riacho São José com afloramento rochoso e mata cilia.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2018.

Figura 98: Perfil geoecológico (03) sobre unidade da paisagem terras baixas.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.



No perfil traçado, observa-se áreas antrópicas agrícolas caracterizadas por área de pastagem e residência. Devido as condições climáticas, em maior parte do ano, a vegetação herbácea apresenta-se ressecada verde acinzentado. Na sequência do perfil se destaca área com vegetação arbórea e arbustiva sobre área bastante arenosa do leito hídrico do Riacho São José, o qual é cercado por mata ciliar com predominância da espécie *Prosopis juliflora* (Figura 99). Em seguida, tem-se a vegetação arbustiva, rupestre e, ao final, a plantação de palma forrageira.

Os três perfis transversais em tela representam a estrutura vertical da paisagem da bacia do Riacho São José, tendo como referência as diferentes unidades geoecológicas e a sua estrutura horizontal. O quarto perfil, por sua vez, permite visualizar a estrutura vertical na perspectiva longitudinal da bacia do Riacho São José, no sentido de Oeste para Leste.

Assim, apresenta-se um perfil integrativo que perpassa pelas três unidades geoecológicas: com 11,42 Km sobre terrenos aplainados abaixo de 550 metros de altitude na UGEO-03; sobre relevo de serras, vales e escarpas por 8,36 Km na UGEO-02; até chegar nas terras altas e aplainadas da UGEO-01, acima de 900 metros de altitude, abrangendo 5,82 Km. Essas três unidades somam um perfil longitudinal que percorre 25 Km de extensão e apresenta amplitude altimétrica de 510 metros.

Figura 99: Trecho arenoso de leito fluvial com mata de galeria predominando a espécie *Prosopis juliflora*.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2018.

O perfil geoecológico 04 (Figura 100) revela as interações e variações dos componentes da paisagem, a partir deles pode-se inferir que a cobertura vegetal e a cobertura da Terra estão associadas a declividade do terreno e aos tipos de solo. Isso se dá devido as áreas antrópicas agrícolas correrem, principalmente, em terrenos com relevo plano e suave ondulado sobre neossolo regolítico a Leste e planossolo háplico a Oeste. Já as áreas com vegetação mais conservada encontram-se concentradas em neossolo litólico e relevo ondulado ao escarpado.

A cobertura vegetal também pode ser analisada a partir de sua distribuição horizontal, seguindo o transecto do perfil longitudinal, pois, ao percorrer as três unidades geoecológicas e observando os perfis transversais, é revelado mudanças fisionômicas seguindo do sentido Oeste para Leste: caatinga arbustiva aberta, caatinga arbórea arbustiva aberta e fechada e o predomínio de espécies arbóreas. Isso sabendo-se que existe a exceção do corredor de *Prosopis juliflora* entre as unidades geoecológicas 01 e 02, bem como a presença dessa espécie nas áreas de pastagem do baixo curso (a Oeste).

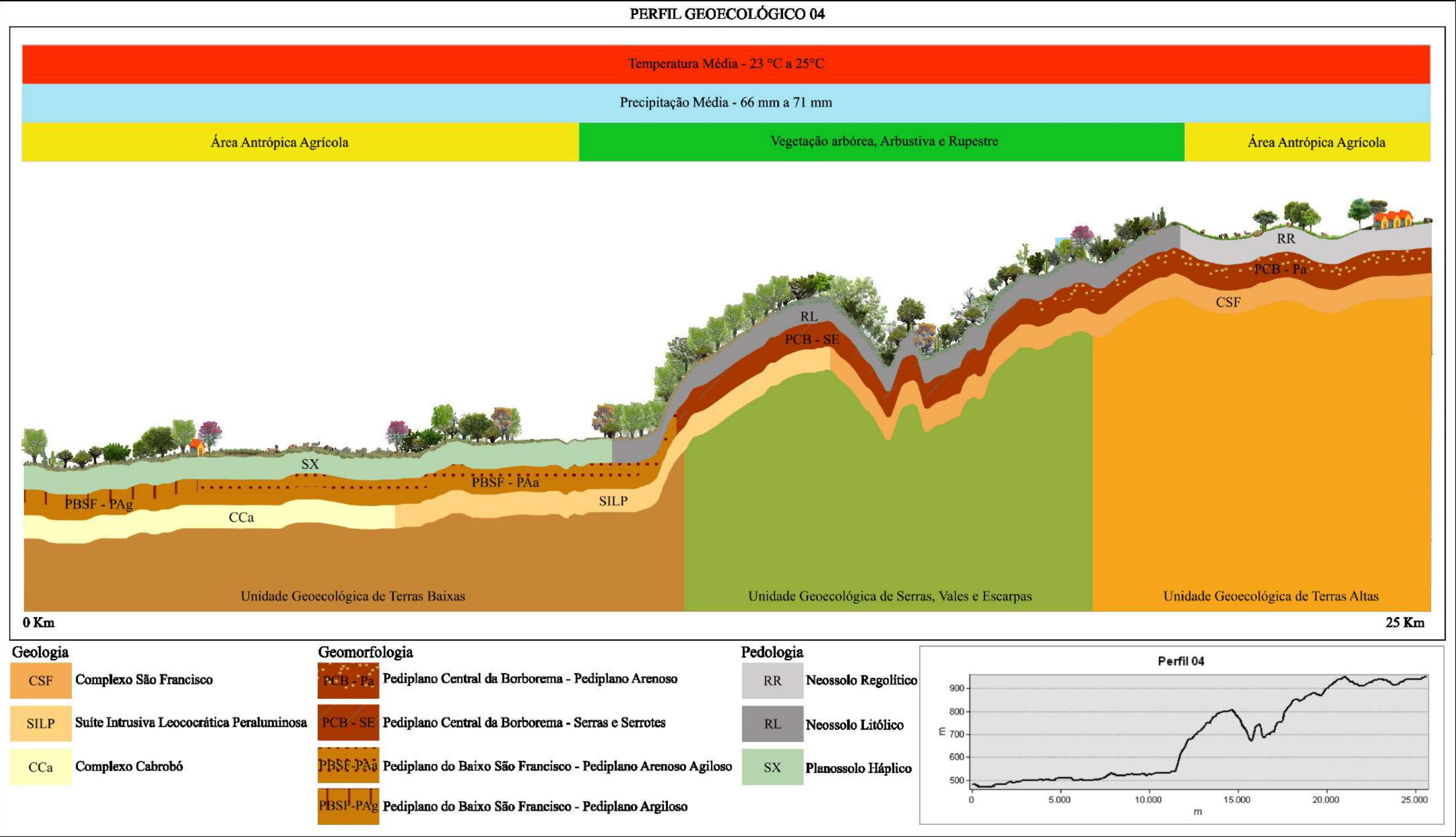
Sobre os condicionantes climáticos, estes compreendem variações climáticas sutis, temperatura variante de 23°C a 25 °C de Leste para Oeste e precipitação que varia de 66 mm a 71 mm. A variabilidade das chuvas na bacia é influenciada pelas formas do relevo, como explicado no capítulo III.

É importante destacar que as interações geoecológicas apresentadas através dos perfis colocam em destaque a relação estabelecida entre os componentes paisagísticos atuantes em sua estrutura vertical e horizontal. Em uma abordagem geoecológica mais aplicada, as interações desses componentes indicam as áreas mais adequadas ou as menos adequadas ao desenvolvimento de atividades antrópicas. Nesse sentido, a pedologia, a geomorfologia, a vegetação e a cobertura da Terra foram utilizadas para estimar os níveis de adequabilidade geoecológica da bacia estudada.

Tais componentes vêm sendo evidenciados ao longo da tese (Capítulos III, IV e V) e aqui vão refletir as múltiplas interações que permitiram mensurar níveis de Adequabilidade Geoecológica (AG) da bacia aos usos antrópicos. Isso por meio da aplicação de um cálculo desenvolvido a partir da álgebra de mapas em ambiente SIG.



Figura 100: Perfil geoecológico longitudinal da bacia do Riacho São José-PE.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.

O cálculo foi pensado e desenvolvido para a bacia do Riacho de São José-PE, pois leva em consideração os componentes que compõem a paisagem desse ambiente. Logo, apresenta-se como uma metrologia flexível que pode ser aplicada em outras áreas e sempre que necessário pode ser facilmente adaptada de acordo com as necessidades do pesquisador e do ambiente estudado. Também se observa na literatura que estudos pautados na interação dos componentes geocológicos são utilizados para inúmeras finalidades, com destaque o diagnóstico ambiental e o planejamento do território e/ou da paisagem (TAKEUCHI, 1983; HUGGETT, 1995; BARSCH, 1996; GORDON *et al.*, 2001; ALEXANDER *et al.*, 2007; STANIS; OSPANOVA; KARPUKHINA, 2019; LENTSWE; MOLWALEFHE, 2020).

Assim, na presente pesquisa, cada classe das camadas cartográficas utilizadas no cálculo da AG foi associada a pesos específicos (1, 2 ou 3) por reclassificação homogênea, o que possibilitou a realização do cálculo por média aritmética e a reclassificação das múltiplas interações ocorridas, distinguindo espacialmente os níveis da adequabilidade sobre a superfície da BRSJ, como descrito na metodologia (Capítulo II) em: 1 - 1,6 adequado; 1,7 - 2,3 parcialmente adequado; 3,4 - 3 inadequado (Figura 101).

Os resultados do cálculo AG, em termos quantitativos (Tabela 29), constataram que predomina o nível adequado aos usos antrópicos com valores entre 1 e 1,6, correspondendo a 63,07Km da área da bacia do Riacho São José; o nível parcialmente adequado encontra-se distribuído por toda a bacia, cujos valores vão de 1,7 a 2,3, compreendendo 49,34 Km<sup>2</sup> da bacia; por sua vez, o nível inadequado equivale a 34,28 Km<sup>2</sup>, evidenciando as áreas menos favoráveis a atividades antrópicas, pois as interações geocológicas apresentam variações entre 2,4 e 3.

Tabela 29: Quantificação da adequabilidade geocológica da bacia do Riacho São José-PE.

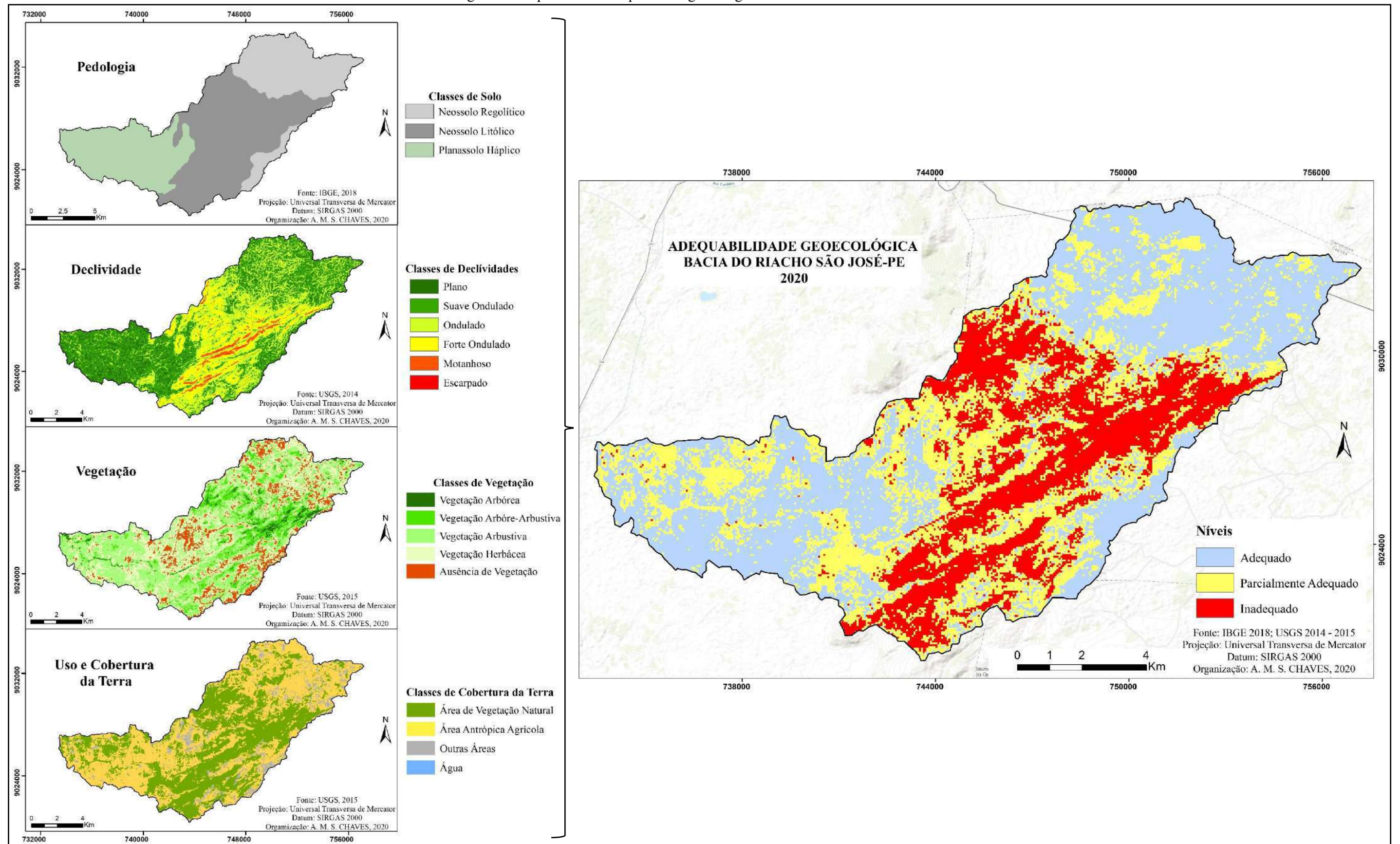
Níveis	Área (Km <sup>2</sup> )	%
<b>Adequado</b>	63,07	43,00%
<b>Parcialmente Adequado</b>	49,34	33,64%
<b>Inadequado</b>	34,28	23,37%
<b>Total</b>	146,69	100,00%

Elaboração: A. M. S. CHAVES, 2020.

Correlacionando a espacialização da AG com a compartimentação geocológica, verifica-se que maiores proporções do nível adequado aos usos antrópicos se encontram na UGEO-01 e na UGEO-03. Essas unidades, denominadas de terras altas, por localizarem-se sobre o planalto e as terras baixas pelo fato de compreenderem depressão do baixo São Francisco. Já a porção central da bacia, UGEO-02, compreende relevo de serras, vales e escarpas, cujo solo predominante é litólico, refletindo o nível inadequado aos usos antrópicos.



Figura 101: Mapeamento da adequabilidade geocológica na bacia do Riacho São José-PE.



Elaboração: A. M. S. CHAVES, 2020.

As correlações estão ligadas principalmente a declividade do terreno e às classes de solo, as quais exercem maior influência na determinação dos diferentes níveis constatados, principalmente quando associados às classes de vegetação.

O nível parcialmente adequado está distribuído pelas três unidades geoecológicas e faz referência à zona de transição entre os outros dois níveis, por isso merece atenção em sua interpretação, pois, ora é mais próximo das áreas adequadas, ora mais próximo das áreas inadequadas. Sendo que as porções parcialmente adequadas sobre relevo plano, suave ondulado e ondulado nas UGEO-01 e UGEO-03 correspondem às poucas áreas com vegetação de maior porte (arbórea e arbustiva), ou seja, trechos que ainda não viraram pastagem ou terra agrícola. Por conta disso, contribui positivamente para a qualidade desse sistema ambiental devido ao importante papel prestado pelo componente vegetal em bacias semiáridas.

Além dos quatro componentes geoecológicos utilizados no cálculo da adequabilidade, é importante destacar a geologia e os condicionantes climáticos, os quais se fazem presentes, pois refletem os modos de uso da terra. Isso porque, como apontado no Capítulo V desta tese, as atividades antrópicas agrícolas diferem do alto curso (agricultura e pecuária) para o baixo curso (predominantemente pecuária) e o fator preponderante para isso é a precipitação.

Além disso, observa-se que as áreas consideradas inadequadas aos usos antrópicos são caracterizadas por uma dinâmica ambiental mais equilibrada entre os componentes geoecológicos (dentre os quais a vegetação se destaca), compreendendo ambientes conservados e os mantendo dessa forma. Isso porque o neossolo litólico é pouco desenvolvido, por conta disso, é facilmente erodido e exposto, principalmente por compreender terrenos íngremes.

Também é importante vislumbrar que as áreas adequadas ao desenvolvimento de atividades antrópicas podem ser potencializadas, caso boas práticas de manejo sejam adotadas. Para isso, é essencial a recuperação e a conservação das matas ciliares dos cursos hídricos e a manutenção das áreas com vegetação natural, pois essas vão manter a umidade no solo por mais tempo, minimizam os processos erosivos (seja por proporcionar maior estabilidade a paisagem, seja por agir como barreira durante as chuvas), serve de sombra aos animais silvestres e criados, além de prestarem relevantes serviços ecossistêmicos.

Diante dos resultados apresentados, observa-se que a bacia do Riacho São José apresenta uma dinâmica geoecológica singular na área de transição Agreste devido aos fatores e processos inerentes do ambiente semiárido, os quais foram colocados em tela por meio de suas estruturas horizontais, verticais e espaciais.

Então, diante do conjunto de resultados apresentados, tem-se edificado, ao longo dos capítulos, a organização do território da bacia do Riacho São José e o diagnóstico ambiental, o

que permite pensar os cenários prospectivos para a bacia com vista ao planejamento conservacionista da paisagem semiárida.

### **5.3 Cenários Prospectivos Voltados à Conservação da Paisagem Semiárida da Bacia do Riacho São José-PE**

Entendo que a modelagem de cenários se apresenta como uma possibilidade de projetar como a realidade pode se comportar no futuro, Oliveira e Melo & Souza (2013, p. 68) afirmam que os cenários compõem ferramentas de projeção que possibilitam retratar as “[...] alterações na estrutura e no funcionamento da paisagem resultantes das interações entre os componentes naturais e humanos”.

Na literatura, observa-se duas abordagens para se planejar cenários: a projetiva que se restringe a fatores e variáveis quantitativas, objetivas e conhecidas, considerando o futuro único e certo; e a prospectiva, a qual busca uma visão global embasada em variações qualitativas e quantitativas que refletem na ocorrência de um futuro múltiplo e por isso incerto (CORTEZ, 2007; OLIVEIRA, 2007).

Segundo Cortez (2007, p. 32), “[...] cenários prospectivos não são predições do que irá acontecer, mas descrições, com base em hipóteses plausíveis, do que poderá acontecer [...]”, levando em consideração diferentes fatores da realidade a ser pensada e planejada. Assim, pode-se dizer que os cenários da presente tese estão estruturados a partir da abordagem prospectiva, pois são embasados nos resultados apresentados nesse capítulo e nos anteriores por meio da modelagem em ambiente SIG. Para isso, é importante destacar os fatores utilizados e a sua importância na conservação da Bacia do Riacho São José-PE.

Para tanto, na caracterização geoecológica da BRSJ foi apresentado como os diferentes componentes ambientais estão dispostos na organização da paisagem estudada. Sendo que o mapeamento da vegetação, através do NDVI, permitiu diagnosticar a estrutura da vegetação e que o porte arbóreo e arbustivo são as fitofisionomias de menor representação na BRSJ. Esses resultados se devem, principalmente, aos diversos usos que são feitos da madeira, o que reflete em uma paisagem semiárida com cursos hídricos, em sua maioria, desprovidos de mata ciliar.

Na análise do mapeamento de Cobertura da Terra e do sistema territorial, foi possível observar a organização da BRSJ, bem como entender os usos feitos, local onde os cursos hídricos das unidades geoecológicas de terras altas e terras baixas predominam áreas de uso agrícola; enquanto na UGEO-II se verifica maior presença do componente vegetal nos cursos fluviais. Tais diferenças de usos ocorrem devido aos tipos de solo e também pela declividade do terreno, como observado nos capítulos anteriores.



No início do presente capítulo, se conheceu a dinâmica geoecológica da bacia do Riacho São José, a qual foi apresentada através da compartimentação e do estado ambiental da paisagem, seguida de visualização gráfica dos perfis geoecológicos e os níveis de adequabilidade, trazendo consigo um diagnóstico ambiental a ser utilizado no planejamento conservacionista.

Agora, por meio de uma análise integrativa, relaciona-se os referidos aspectos na projeção de cenários futuros para duas datas específica, 2025 e 2035, dentro de um planejamento que visa a conservação dos cursos hídricos da bacia estudada. Para isso, como apresentado na metodologia, os cenários foram modelados nos softwares *ArcGis* e *Idrisi*.

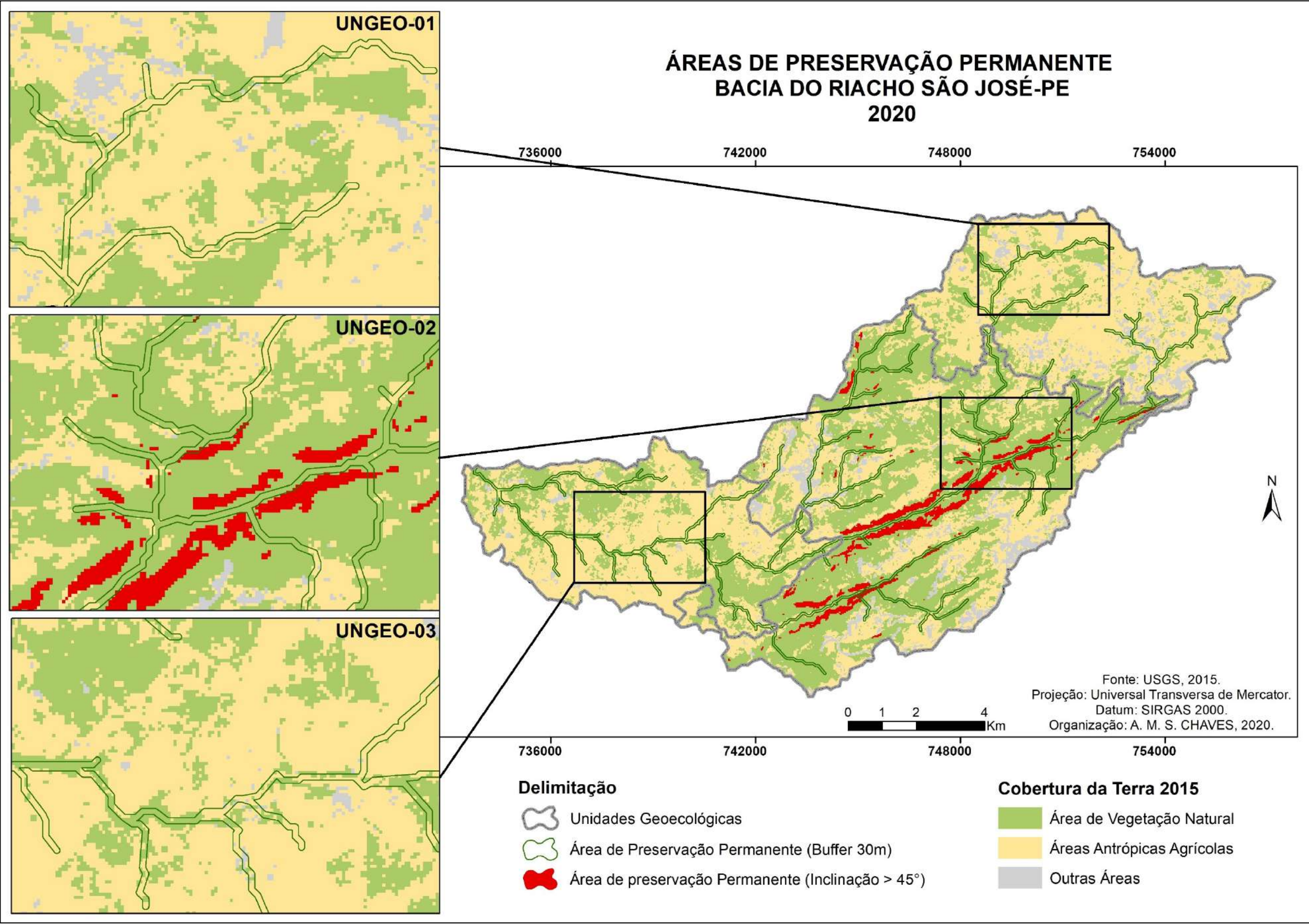
Dentre os fenômenos analisados ao longo dessa pesquisa, são os mapas dinâmicos de cobertura da terra dos anos de 2005 e 2015 a base para estimar as matrizes de análise Markov e realizar as projeções futuras. Assim, as datas são consideradas tempos, em que: 2005 é t0; 2015 é t1; e os cenários variações do t2 (apenas projetivo) e t2c (conservacionista), variando de acordo com as premissas levantadas para cada modelagem na ferramenta CA-Markov.

Assim, teve-se como ponto de partida a construção de um *buffer* de 30 m, segundo o estabelecido pela resolução CANAMA 302-303 e a Lei nº 12.651 (código florestal) que determina as faixas marginais de curso d'água natural com até 10m de largura como Áreas de Preservação Permanente (APP) de 30m para ambas as margens. Em decorrência disso, foi possível identificar áreas importantes a serem conservadas ou recuperadas. Além do *Buffer*, pela referida legislação, as encostas com declividade igual e superior a 45° de inclinação são consideradas APP (Figura 102).

Vale mencionar que as áreas de preservação permanente dos cursos hídricos (*buffer* de 30 m) compreendem 7,77 km<sup>2</sup> de área da bacia e as encostas acima de 45° compreendem 3,77 Km<sup>2</sup>, totalizando 11,54 Km<sup>2</sup> de APP. No entanto, diferente das áreas de mata ciliar, as encostas classificadas como APP já fazem parte de áreas conservadas.

O mapa de APP, junto às variáveis ambientais da bacia estudada, como solo, declividade, cobertura da Terra e os níveis de adequabilidade geoecológicas, foram utilizadas na construção dos Mapas de Adequação Terrestre (MAT) para modelagem dos cenários futuros. Esses mapas constituem um conjunto de variáveis capazes de incentivar uma determinada cobertura em detrimento das demais. Além disso, os MAT foram mensurados a partir de expressões booleanas, ou seja, valores representativos 0 e 1, e posteriormente, inversamente reclassificados, conforme consta na metodologia.

Figura 102: Mapa de áreas de preservação permanente na bacia do Riacho São José-PE.



Elaboração: A. M. S. CHAVES, 2020.

Os cenários foram construídos dentro de três possibilidades, uma projetiva pensada a partir das mudanças ocorridas na cobertura da terra entre 2005 e 2015, representando a continuação dos usos atuais para 2025 ( $t_{210}$ ), 2035a ( $t_{220}$ ) e 2035b ( $t_{210}$ ). As outras duas prospectivas levaram em consideração os MAT e são pautadas em um planejamento conservacionista da paisagem semiárida: uma incentiva a adequação de duas classes de cobertura da Terra (as AVN e AAA) e a segunda incentiva apenas as áreas de vegetação natural.

Assim, o primeiro conjunto de cenários foi baseado apenas na cobertura e nos usos da terra anterior, ou seja, dois mapas de duas datas diferentes que são sobrepostos de modo a estimar os padrões e processos de mudança, por meio de matrizes de probabilidade e áreas de transição, para a parametrização e calibração das projeções futuras (MAS *et al.*, 2014).

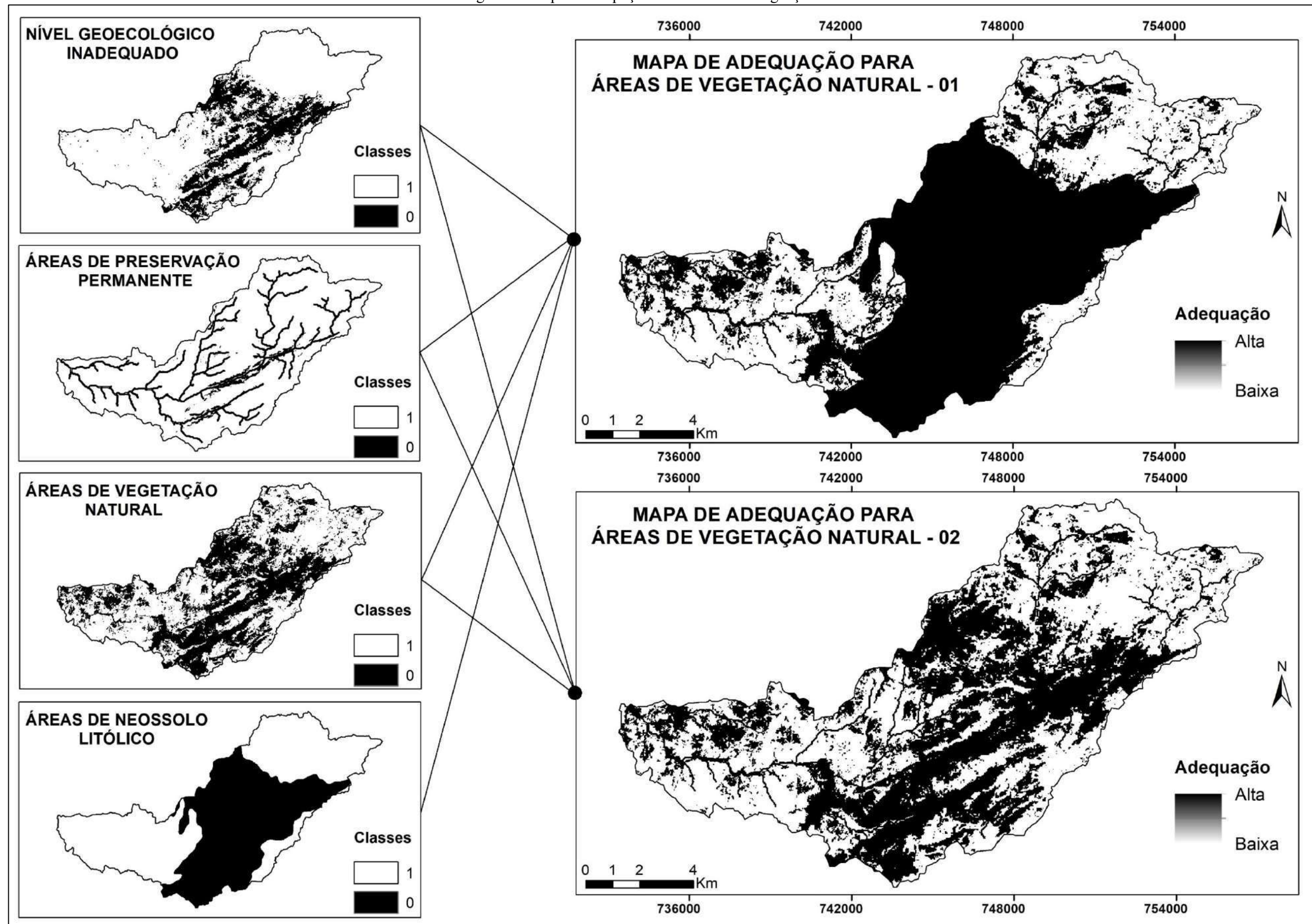
O segundo e terceiro conjunto fazem uso de mapas de adequação terrestre para incentivar o crescimento de uma classe de cobertura da terra de acordo com fatores pré-estabelecidos, como por exemplo: áreas de vegetação natural são incentivadas para ambientes de porções dos terrenos da bacia do Riacho São José consideradas dentro do nível geoecológico inadequado aos usos antrópicos, as áreas de APP, a vegetação natural e o neossolo litólico; já os MAT para áreas de usos antrópicos considerou o nível geoecológico adequado, declividade até 20° de inclinação, às áreas de uso agrícola, neossolo regolítico e planossolo háplico.

Nos mapas de adequação terrestre, conforme explicado na metodologia (capítulo 2), são apresentadas duas possibilidades de incentivo: uma para área de vegetação natural e outra para áreas antrópicas agrícolas. Em cada uma dessas, tem-se duas possibilidades que refletem a utilização ou a ausência da classe solo, como estabelecido nas ligações dos MAT conforme apresentado nas figuras 103 e 104.

Como se trata de descrições possíveis de cenários pensados para duas datas específicas (2025, 2035a e 2035b), sabe-se que o não planejamento ou decisões de planejamento em direções opostas às pensadas aqui resultarão em realidades diferentes das modeladas. Assim, buscou-se trazer cenários de fácil compreensão a partir de processamentos flexíveis com referências consolidadas, por esse motivo adotou-se a ferramenta de modelagem CA-Markov, embasada na análise de cadeia Markov e de Autômatos Celulares do Software *Idrisi Selva* (EASTMAN, 2012; HOUET; HUBERT-MOY, 2006; KOCABAS; DRAGICEVIC, 2006; KAMUSOKO *et al.*, 2009; MAS *et al.*, 2011; MAS *et al.*, 2014; SANG *et al.*, 2011).



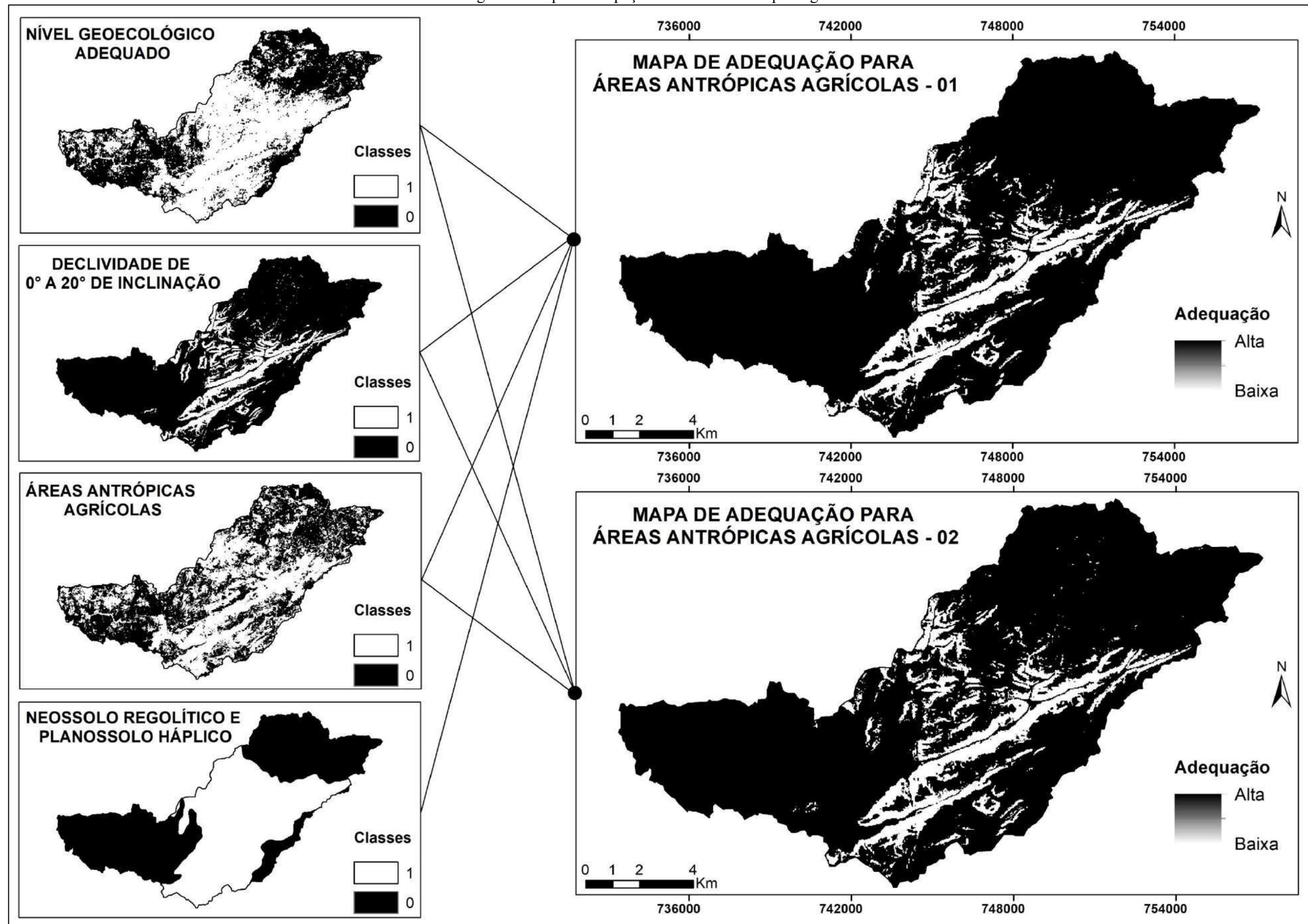
Figura 103: Mapas de adequação terrestre a áreas de vegetação natural.



Elaboração: A. M. S. CHAVES, 2020.



Figura 104: Mapas de adequação terrestre a áreas antrópicas agrícolas.



Elaboração: A. M. S. CHAVES, 2020.



Com base no exposto, verifica-se na literatura que a construção de cenários futuros a partir da modelagem CA-*Markov* costuma seguir um padrão de três etapas: Matrizes *Markov*, Mapa de adequação ou Mapas condicionais e Autômato Celular. No entanto, quanto ao fenômeno modelado, esse varia, pois pode compreender desde a evolução da cobertura da Terra, a exemplo do presente estudo, como também projeções de crescimento urbano, mudanças em ambiente rural, áreas florestais, áreas desertificadas, ambientes úmidos e áridos (ABUELAISH; OLMEDO, 2016; ABURAS *et al.*, 2017; ADHIKARI; SOUTHWORTH, 2012; BARROS *et al.*, 2018; KAMUSOKO *et al.*, 2009; SANG *et al.*, 2011; ZHANG *et al.*, 2011).

De acordo com Chang *et al.* (2011), Mas *et al.* (2011; 2014) e Houet e Hubert-Moy (2006), o modelador CA\_MARKOV do *software Idrisi*, ao associar a análise de cadeia *Markov*, para: determinar a quantidade de alteração; autômatos celulares (CA) para alocar espacialmente as alterações; os mapas de adequação para incentivar as mudanças e realizar simulações, compreende ferramenta poderosa para a modelagem dinâmica e construção de cenários futuros, revelando uma metodologia que leva em consideração as interações espaciais.

Assim, a base da modelagem dos cenários foi a análise de cadeia de *Markov* para estimar as previsões para mudanças na cobertura da terra, possibilitando mensurar as matrizes de probabilidade e de áreas de transição para indicar a possibilidade de um pixel de uma determinada classe permanecer o mesmo sem mudar para outra classe de cobertura (SANG *et al.*, 2011).

Em vista disso, para a bacia do Riacho São José, foram construídas três matrizes de probabilidade de transição e três de áreas de transição, as quais estão integradas nas tabelas 30 e 31. A primeira simulação compreende os mapas de cobertura da terra de 2005 e 2015 para projetar 2025; a segunda, a partir dos mesmos mapas, foi direcionada a simular 2035a; a terceira é baseada no mapa de 2015 e a simulação de 2025 para projetar 2035b.

Tabela 30: Matriz de probabilidade de transição da cobertura da terra do Riacho de São José-PE.

	2005 - 2015 = 2025			2005 - 2015 = 2035a			2015 - 2025 = 2035b		
Classes	AVN	AAA	OAN	AVN	AAA	OAN	AVN	AAA	OAN
AVN	0.6053	0.3649	0.0298	0.4830	0.4693	0.0477	0.8500	0.0750	0.0750
AAA	0.2955	0.6027	0.1017	0.3936	0.5162	0.0901	0.3929	0.5923	0.0148
OAN	0.1664	0.6551	0.1784	0.2884	0.6313	0.0803	0.1598	0.0778	0.7624

Fonte: A. M. S CHAVES, 2020.

As matrizes de probabilidade de transição quantificam as transferências de uma classe de cobertura para outra, ou seja, perdas e ganhos, em que as linhas, com exceção da diagonal

cruzada, revelam o quanto será perdido e as colunas representam o quanto uma classe ganha de área das demais (SANG *et al*, 2011). Assim, as áreas de vegetação natural (AVN) e antrópicas agrícolas (AAA) apresentam maiores probabilidades de transição entre elas, isso se deve por compreenderem maiores áreas de cobertura da terra. Também se nota que a classe de outras áreas não identificadas (OAN) revelam alta probabilidade de transição para AAA.

Ainda, observa-se que a probabilidade de transição é mais elevada quando se dobra o tempo de 10 anos (entre 2015 a 2025) para 20 anos (entre 2015 e 2035), pois tendo como referência as AVN, o primeiro intervalo mostra que a probabilidade de não haver mudança é de 60,53%, quando se dobra o intervalo para 20 anos, a possibilidade da mesma classe permanecer sem alteração cai para 48,30%. Por outro lado, quando se calcula a transição tendo como data de partida a projeção de 2025 para 2035, constata-se uma redução significativa da transição das classes AVN, que apresenta permanência de 85%.

Por sua vez, as matrizes de áreas de transição (Tabela 31) estabelecem a quantidade de mudanças a partir dos números de pixels de cada classe de cobertura da terra, permanecendo ou mudando para outra classe nos períodos simulados (2025, 2035a e 2035b). Em corroboração às matrizes de probabilidade de transição, as maiores áreas de mudança ocorrem entre as AVN e AAA, e observa-se diminuição de áreas de mudança na projeção entre 2025 e 2035 para AVN e OAN.

Tabela 31: Matriz de áreas de transição da cobertura da terra da bacia do Riacho de São José-PE.

	2005 - 2015 = 2025			2005 - 2015 = 2035a			2015 - 2025 = 2035b		
Classes	AVN	AAA	OAN	AVN	AAA	OAN	AVN	AAA	OAN
AVN	42.060	25.355	2.069	33.559	32.608	3.316	80.446	7.098	7.098
AAA	24.359	49.677	8.386	32.443	42.548	7.430	22.820	34.395	859
OAN	1.729	6.806	1.854	2.996	6.559	834	1.640	798	7.822
Total de Pixels	68.148	81.838	12.309	68.998	81.715	11.580	104.906	42.291	15.779

Fonte: A. M. S CHAVES, 2020.

A matriz de área de transição revela o total de pixels que irão mudar de classe na projeção dos cenários. Nesse sentido, nas linhas da tabela tem-se o total de pixels de uma classe de cobertura da terra que mudou para outra classe, com exceção da diagonal que revela o número de pixels que permanecem; já as colunas revelam o total de pixels que pertencerão à mesma classe no final da modelagem (SINGH *et al.*, 2015). Tais alocações de terra, como já esclarecido, são feitas a partir dos autômatos celulares por proximidade de vizinhança.

De modo interpretativo, constata-se nas matrizes de áreas de transição que: no cenário de 2025, de 68,148 pixels pertencentes às áreas de vegetação natural, 24.359 pertenciam às AAA e 1.729 à OAN, um ganho de 26.088, no entanto a perda foi superior, 27.424 pixels; na matriz de 2035a, para a mesma classe de cobertura da terra foi estimado que dos 68.998 pixels, 32.443 foram transferido das AAA e 2.996 da OAN, um ganho de 35,439, mas também apresentou um perda superior de 35.924 pixels; já na matriz 2035b, as AVN apresentam menor ganho, correspondendo a 24.460, sendo 22.820 pixels das áreas antrópicas agrícolas e 1.640 de outras áreas, porém dessa vez a perda foi inferior, 14.196 pixels.

A mesma leitura de ganhos e perdas de pixels pode ser feita para as demais classes de cobertura da terra a partir da tabela 23, mas como a intenção é ter esses dados espacialmente representados na forma de cenários, não se fará uma descrição exaustiva do quanto cada classe ganhou ou perdeu, pois a tabela cumpre bem essa função.

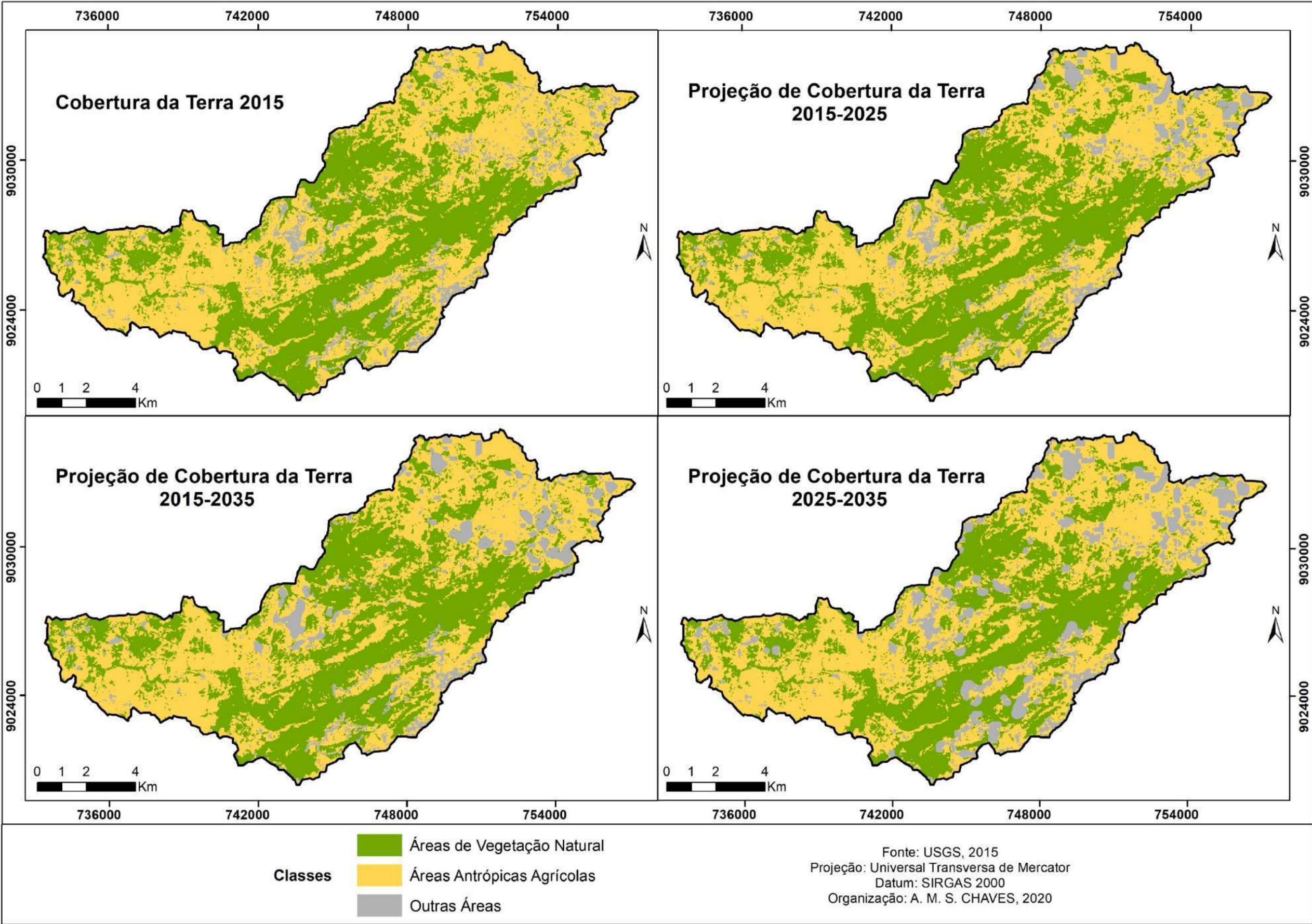
Voltando ao contexto principal, a partir dos mapas de usos e cobertura da Terra (2005 e 2015), dos mapas de adequação Terrestre e das matrizes da análise de cadeia *Markov*, fez-se a projeção de três conjuntos de possibilidades de cenários. Para isso, o modelo de Autômato Celular (CA) adicionará caracteres espaciais ao modelo determinado pelo tempo declarado e a capacidade de os pixels mudarem para seus vizinhos de acordo com as regras de transição predefinidas (HOUET; HUBERT-MOY, 2006; SINGH *et al.*, 2015; MONDAL *et al.*, 2016; ABUELAISH; OLMEDO, 2016), ou seja, a mudança de uma classe de cobertura mapeada para outra classe se dá por vizinhança, indicando as tendências de mudanças na paisagem.

Por seu turno, o primeiro conjunto de cenários (Figura 105) compreende a abordagem projetiva, estimando modelagem da evolução da cobertura da Terra da BRSJ, levando em consideração apenas os dados do mapa de 2005 e 2015. Todas as projeções tiveram como ponto de partida o ano de 2015 para simular 2025 a 2035a e, posteriormente, a partir de 2025, projetou-se 2035b com 10 anos (para verificar se existiria mudanças no padrão de evolução da cobertura da Terra com a mudança de tempo, bem como por se fazer uso de projeção futura).

Observa-se, nas projeções futuras do primeiro conjunto, que a mudança na cobertura da Terra em 2025 ocorrerá principalmente no alto curso da bacia, área correspondente à unidade geocológica de terras altas. Na realidade, se espera por isso mesmo sem a utilização de mapa de adequação para incentivar, no entanto, o crescimento de outras áreas não é positivo, pois a realidade corresponde a solos expostos e usos não identificados (principalmente), o que pode indicar maior degradação do ambiente da BRSJ.



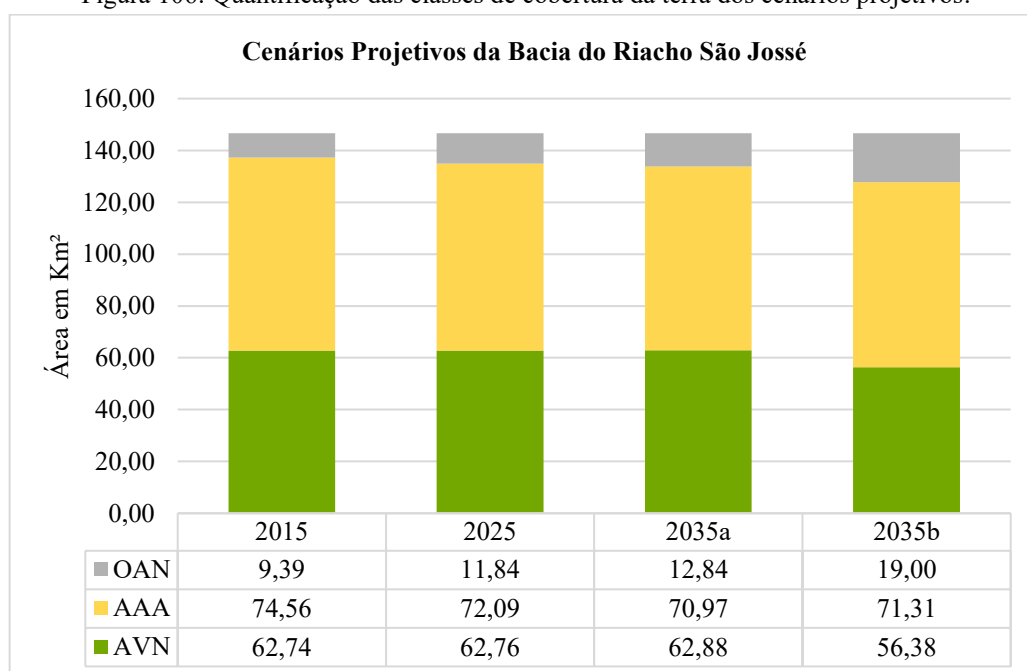
Figura 105: Conjunto de cenários projetivos da evolução da cobertura da terra para a bacia do Riacho São José-PE (2015 a 2035).



Elaboração: A. M. S. CHAVES, 2020.

No Cenário modelado para 2035a, observa-se que a mesma mudança na parte alta da bacia permanecerá, bem como a ocorrência de uma maior concentração de OAN no médio curso, na unidade geocológica de serras, vales e escarpas (área que deve priorizar a conservação ambiental). Por sua vez, o cenário 2035b, projetado a partir da condição de cobertura da terra de 2025, tende a aumentar a mesma classe de cobertura, porém de modo expressivo em toda a bacia, diminuindo, principalmente, as AVN, conforme apresenta gráfico de quantificação das mudanças ocorridas (Figura 106).

Figura 106: Quantificação das classes de cobertura da terra dos cenários projetivos.



Fonte, A. M. S. CHAVES, 2020.

De modo geral, ocorre leve crescimento da cobertura terrestre de OAN sobre as AAA entre 2015, 2025 e 2035a, sendo respectivamente de 2,45 km<sup>2</sup> e 1 Km<sup>2</sup>. Vale salientar que, quando o cenário é modelado a partir da projeção de 2025 para o de 2035b, a mudança de cobertura da terra incide sobre AVN, o que gera um cenário cuja redução da vegetação compreende 6,36 Km<sup>2</sup> e afeta principalmente a unidade geocológica 03, compreendendo um crescimento de 7,16 Km<sup>2</sup> de solo exposto e áreas não identificadas sobre a bacia.

Tais dados compreenderam modelagem de cenários sem forças motrizes direcionadas a um planejamento ambiental, o que revelou mudanças futuras não positivas, pois, embora a vegetação natural não varie muito em termos quantitativos, a incidência de solo exposto e outros usos compreendem, de certa maneira, áreas degradadas. Os dados quantitativos confirmam essa situação, o que indica a necessidade de se pensar novas ações focadas em um planejamento



conservacionista, como será apresentado nos cenários que fazem uso dos mapas de adequação terrestre.

Como esclarecido na metodologia, para cada mapa de adequação terrestre fez-se três combinações com os mapas condicionais para as projeções, gerando quatro conjuntos MAT para simulação dos cenários possíveis para cada tempo especificado (2025, 2035a e 2035b). Todos os cenários são apresentados em mapa no apêndice B, no presente resultado aborda-se apenas as projeções consideradas mais adequadas à conservação da vegetação natural.

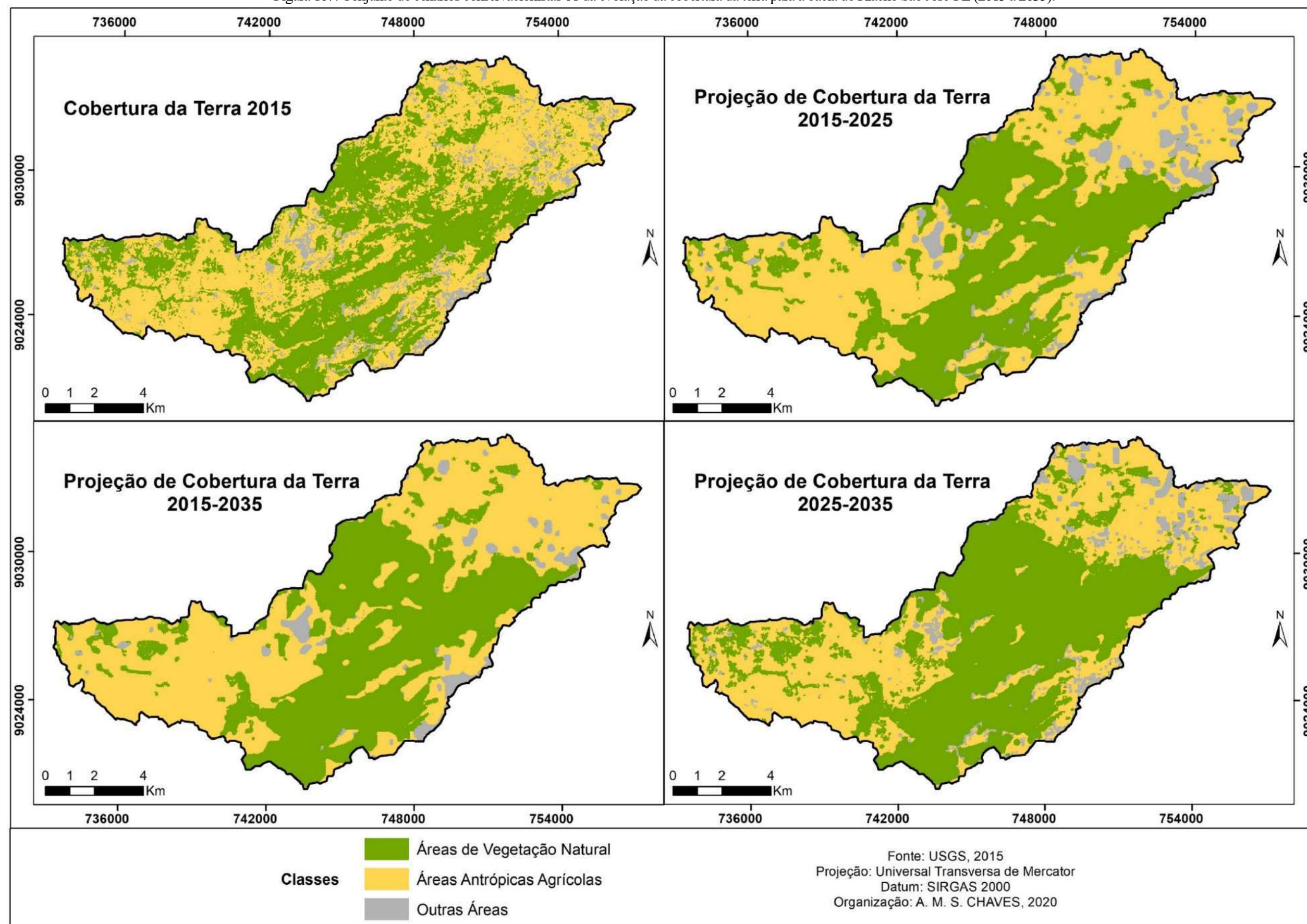
De modo geral, os MAT têm a função de direcionar os locais considerados adequados para a ocorrência das classes de cobertura da Terra da bacia do Riacho São José. Nesse sentido, buscou-se incentivar nos cenários a recuperação da vegetação natural nas áreas de preservação permanente dos cursos hídricos e inadequadas aos usos antrópicos, pois, como visto no mapa de APP, muitos cursos não possuem a mata ciliar.

Entre as possibilidades de incentivo por meio do uso dos mapas de adequação, observou-se que a recuperação das áreas de preservação permanente ocorre de forma mais acentuada quando se faz uso apenas do MAT a áreas de vegetação natural com a classe de solo para projeção dos cenários. Por outro lado, ao combinar dois MAT de incentivo, as AAA e AVN, no alto e baixo curso da bacia, a vegetação sofre redução e fica restrita a algumas porções do terreno, conforme observa-se no segundo conjunto de cenários (Figura 107).

Isso ocorre nas projeções porque o alto e baixo curso apresentam áreas para a adequação de ambas as condições de usos, AVN e AAA, o que provoca uma concorrência por área. Tal situação é tida como conflito de objetivos múltiplos na modelagem, que ocorre quando se deseja realizar um planejamento ou zoneamento para mais de uma utilização da terra (EASTMAN, 2012). Mas, como na presente pesquisa o objetivo é a construção de cenários prospectivos que vislumbrem as possibilidades de múltiplas realidades futuras, esse fato reflete em uma das possibilidades de cenários: a existência de conflitos de usos em relação às áreas naturais, fator que leva a fragmentação da paisagem.

Nesse sentido, como o autômato celular realiza a alocação terrestre por vizinhança (EASTMAN, 2012; SINGH *et al.*, 2015; MONDAL *et al.*, 2016), a tendência é a união entre as células (pixels) de mesma cobertura terrestre. Nesse caso, o MAT das AAA é mais abrangente no alto e baixo curso da BRSJ, unidades geoecológicas de 01 e 03, o que diminui a capacidade de crescimento da AVN, afetando assim a recomposição das APP.

Figura 107: Conjunto de cenários conservacionistas 01 da evolução da cobertura da terra para a bacia do Riacho São José-PE (2015 a 2035).

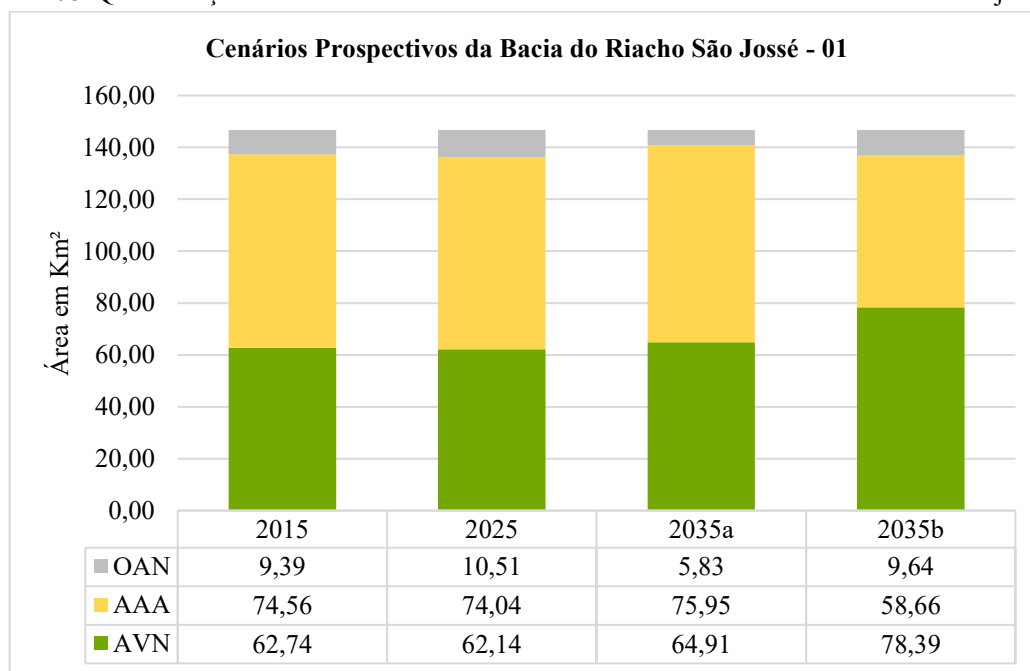


Elaboração: A. M. S. CHAVES, 2020.

Assim, os cenários prospectivos vão responder os componentes de incentivo ou restrições utilizadas na sua construção, o que reflete em diferentes possibilidades de espacialização, uma vez que certos componentes ocupam maior abrangência espacial em detrimento de outros, como ocorre com as calasses de solos.

Em dados quantitativos (Figura 108), o segundo conjunto de cenários não difere muito do primeiro conjunto. No entanto, o uso dos mapas de adequação terrestre a AVN (01) e AAA (2) provoca uma reorganização espacial das classes de cobertura da terra, como fica evidente principalmente nas projeções de 2025 e 2035a. Assim, observa-se de 2015 para 2025 baixa redução nas classes de vegetação natural e antrópicas agrícolas, já entre 2025 e 2035a ocorre um aumento de 2,77 Km<sup>2</sup> para AVN e 1,91 Km<sup>2</sup> para as AAA. Em contrapartida, ocorre uma diminuição de 4,68 Km da classe em outras áreas, ou seja, solo exposto e usos não identificados, o que representa um aspecto positivo na reorganização da cobertura terrestre.

Figura 108: Quantificação das classes de cobertura da terra dos cenários conservacionistas - conjunto 01.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.

Por sua vez, a simulação 2035b projetada a partir do cenário de 2025 revela um aumento acentuado da vegetação, atingindo 78,39Km<sup>2</sup>, ou seja, 13, 48 Km<sup>2</sup> a mais do que foi constatado em 2035a e 16,25Km<sup>2</sup>, superior ao constatado em 2025. Embora tais dados revelem um crescimento elevado, eles são possíveis, pois 10 anos compreende tempo suficiente para recuperação da vegetação caatinga, a qual predomina as espécies arbóreas e arbustivas, em condições ambientais favoráveis.

De acordo com estudos realizados com espécies nativas do domínio caatinga, a germinação e a taxa de crescimento da vegetação são variáveis, logo as espécies podem apresentar crescimento de 0,88 metros a 1,5 m em 22 meses (CHAER *et al.*, 2010; CARVALHO, 2016). Tais constatações dependem de variáveis ambientais, condições climáticas e interferência antrópica.

Na evolução de mudanças da cobertura da terra, alguns fatores também influenciam no cenário projetado, como as condições anteriores da cobertura terrestre, as variáveis ambientais (com destaque as climáticas e hidrológicas) e as atividades antrópicas desenvolvidas (ZHANG *et al.*, 2011; MONDAL *et al.*, 2016). Tais fatores, quando planejados, podem revelar condições ambientais mais favoráveis à recuperação das matas ciliares nos cursos hídricos, direcionando tomadas de decisões eficientes, no entanto os cenários do conjunto 01 e do conjunto 02 não permitiram alcançar tal objetivo.

Assim, observa-se que os cenários prospectivos do conjunto 03 (Figura 109), os quais fazem uso apenas do mapa de adequação a vegetação natural 01, e as imagens condicionais das demais classes, demonstram maior recuperação das AVN, revelando a formação das APP nos cursos hídricos entre 2015, 2025 e 2035a. Porém, 2035b apresenta dados contrários, ou seja, redução da vegetação em relação às projeções de 2025 e 2035a.

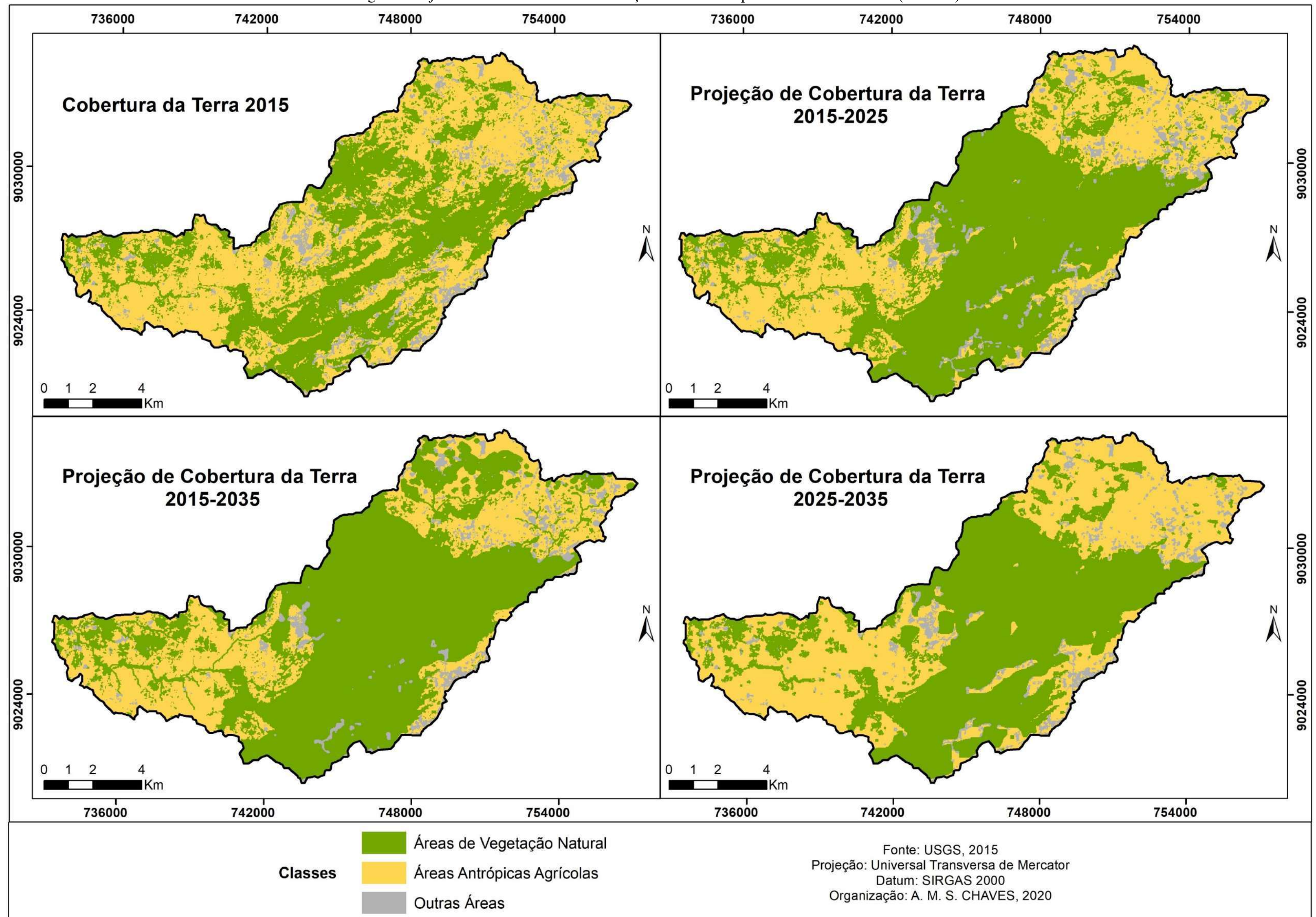
Tais dados revelam que a crescente recuperação da vegetação natural na BRSJ será possível para os cenários futuros, caso medidas conservacionistas sejam tomadas nessa direção, principalmente na unidade geocológica de serras, vales e escarpas que ocupa quase 50% da área territorial da bacia do Riacho São José. Outro aspecto positivo é a diminuição da classe de cobertura OAN apresentado nessas projeções, as quais indicam áreas degradadas, revelando sua redução de 9,39Km<sup>2</sup> em 2015 para 7,33Km<sup>2</sup> em 2035a e de 7,19 para 2035b.

As projeções também revelam que a recuperação das APP pode ocorrer de forma satisfatória dentro do recorte temporal de 20 anos, como pode-se observar no auto e baixo curso da bacia por reorganização das classes de cobertura do solo entre 2025 e 2035a. Isso, caso a prioridade seja a delimitação das áreas e o incentivo de ações com tal finalidade, no entanto acredita-se ser difícil que a porção Nordeste do alto curso chegue, de fato, a essa espacialização, pois os usos antrópicos são mais intensos nessa na parte da BRSJ.

Observa-se também que o cenário de 2035a preenche quase toda área de incentivo delimitada no mapa de adequação, com exceção da classe de OAN, revelando que é mais fácil as AAA se converterem em AVN. Em análise quantitativa, o conjunto de cenários 03 mostra a superação da classe de AAA por AVN em todas as projeções (Figura 110), embora 2035b demonstre menor crescimento em relação as outras duas projeções.



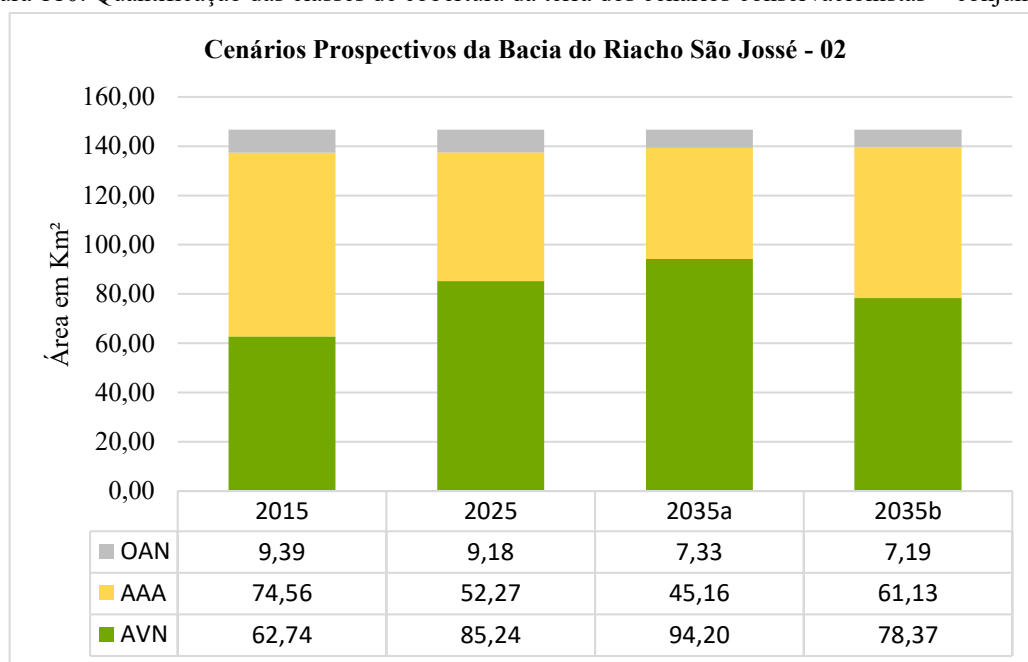
Figura 109: Conjunto de cenários conservacionistas 02 da evolução da cobertura da terra para a bacia do Riacho São José-PE (2015 a 2035).



Elaboração: A.M.S. CHAVES, 2020.



Figura 110: Quantificação das classes de cobertura da terra dos cenários conservacionistas - conjunto 02.



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.

Diante dos conjuntos de cenários apresentados e possíveis de acontecerem para a bacia do Riacho São José-PE, vê-se que o terceiro conjunto de cenários se apresenta como o mais conservacionista, tanto na alocação de terras espacialmente como em sua quantificação. Todavia, acredita-se que necessariamente não é pela superação da classe de AAA pelas AVN que isso de fato venha proporcionar uma paisagem mais conservada, pois, para isso, é fundamental um planejamento ambiental que veja o ambiente semiárido em suas potencialidades e limitações.

Em termos quantitativos, observa-se na tabela 32 as variações entre as três classes de cobertura da terra mensuradas nas modelagens preditivas. Assim, constata-se que nos conjuntos de cenários projetivos e preservacionistas 01 os valores são próximos para as predições dos anos de 2025 e 2035a.

Em 2025, entre esses dois conjuntos (projetivo e conservacionista 01), ocorre sutis variações entre as classes de cobertura da terra, respectivamente de: 42,78% e 42,36% para as AVN; 49,14% e 50,47% entre as AAA; e as OAN com 8,07% e 7,16%. Nas predições para 2035a têm-se para as AVN 42,87% e 44,25%; nas AAA 48,38% e 51,78% respectivamente. Exceção se observa para classe OAN em 2035a, onde a diferença é maior, saindo de 8,75% no cenário projetivo para 3,97% no conservacionista 01.

Tabela 32: Quantificação das classes de cobertura da terra nos conjuntos de modelagens preditivas.

<b>Modelagem Preditiva para Cenários Projetivos</b>								
<b>Classes</b>	<b>2015</b>		<b>2025</b>		<b>2035a</b>		<b>2035b</b>	
	Km	%	Km	%	Km	%	Km	%
<b>AVN</b>	62,74	42,77%	62,76	42,78%	62,88	42,87%	56,38	38,43%
<b>AAA</b>	74,56	50,83%	72,09	49,14%	70,97	48,38%	71,31	48,61%
<b>OAN</b>	9,39	6,40%	11,84	8,07%	12,84	8,75%	19,00	12,95%
<b>Total</b>	146,69	100,00%	146,69	100,00%	146,69	100,00%	146,69	100,00%
<b>Modelagem Preditiva para Cenários Conservacionistas - 01</b>								
<b>Classes</b>	<b>2015</b>		<b>2025</b>		<b>2035a</b>		<b>2035b</b>	
	Km	%	Km	%	Km	%	Km	%
<b>AVN</b>	62,74	42,77%	62,14	42,36%	64,91	44,25%	78,39	53,44%
<b>AAA</b>	74,56	50,83%	74,04	50,47%	75,95	51,78%	58,66	39,99%
<b>OAN</b>	9,39	6,40%	10,51	7,16%	5,83	3,97%	9,64	6,57%
<b>Total</b>	146,69	100,00%	146,69	100,00%	146,69	100,00%	146,69	100,00%
<b>Modelagem Preditiva para Cenários Conservacionistas - 02</b>								
<b>Classes</b>	<b>2015</b>		<b>2025</b>		<b>2035a</b>		<b>2035b</b>	
	Km	%	Km	%	Km	%	Km	%
<b>AVN</b>	62,74	42,77%	85,24	58,11%	94,20	64,22%	78,37	53,43%
<b>AAA</b>	74,56	50,83%	52,27	35,63%	45,16	30,79%	61,13	41,67%
<b>OAN</b>	9,39	6,40%	9,18	6,26%	7,33	5,00%	7,19	4,90%
<b>Total</b>	146,69	100,00%	146,69	100,00%	146,69	100,00%	146,69	100,00%

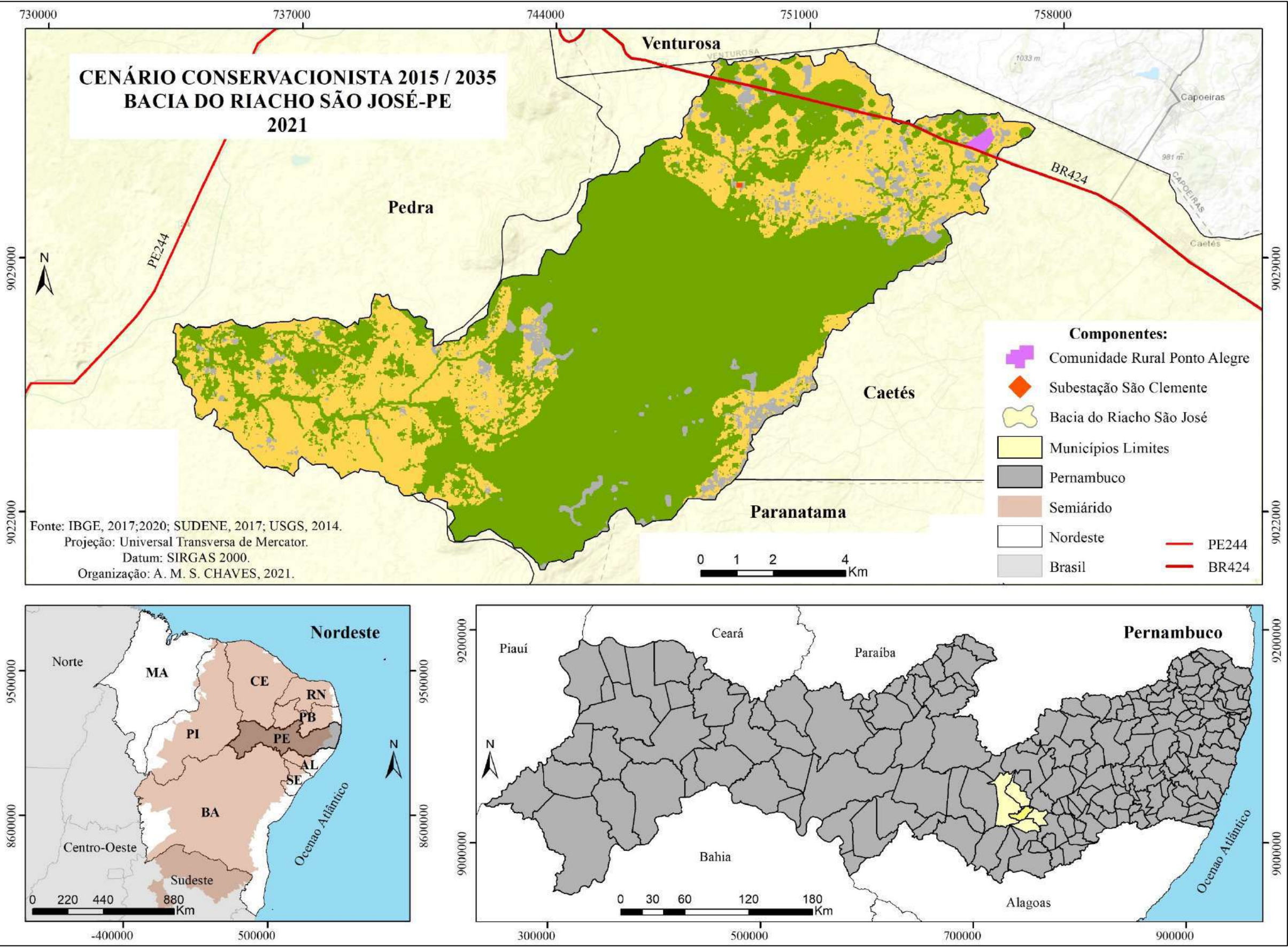
Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.

A Situação é melhorada na modelagem preditiva do segundo conjunto de cenários conservacionistas, onde (de acordo com os dados da tabela) verifica-se aumento da classe de vegetação natural e redução das áreas de solo exposto ou degradadas. Nesse conjunto, no cenário 2035a ocorre a recomposição da cobertura vegetal para todas as áreas de preservação permanente dos cursos hídricos da BRSJ, permitindo alcançar o objetivo almejado na visão conservacionista adotada (Figura 111).

Essa verificação, através da modelagem preditiva, reforça a necessidade de se desenvolver um planejamento ambiental com fins conservacionista para a BRSJ, de modo a garantir a proteção e recuperação dos cursos hídricos degradados, reestabelecendo o equilíbrio ambiental e aumento na prestação de serviços ecossistêmicos de provimento e regulação e manutenção.

Perante os cenários modelados para cada conjunto conservacionista, constata-se que apenas um alcançou o objetivo traçado. Logo a predição para o ano de 2035a, a partir dos dados de cobertura da terra de 2015 e pensando dentro da perspectiva do planejamento ambiental adotado a partir dos mapas de adequação terrestre, é o cenário factível a ser adotado para a paisagem semiárida da bacia do Riacho São José.

Figura 111: Cenário 2035a do conjunto conservacionistas 02 onde ocorre a recomposição da cobertura vegetal para todas as áreas de preservação permanentes dos cursos hídricos.



Elaboração: A. M. S. CHAVES, 2021.

No contexto da modelagem de cenários, entende-se que a recuperação das APP depende, principalmente, de um planejamento ambiental que observe a dinâmica fitogeográfica e geoecológica da BRSJ como um todo, com especial atenção aos cursos hídricos.

Os cenários reforçam o papel basilar da componente vegetação na redução e recuperação de áreas degradadas, pois mesmo que essas áreas não mostrem crescimento expressivo, o fato de serem prioridades na conservação impacta positivamente na redução de ambientes degradantes caracterizados pela exposição do solo.

Para isso, foi importante estabelecer os níveis da adequabilidade geoecológica para o ambiente semiárido da bacia estudada, uma vez que, além de direcionar os usos antrópicos às áreas adequadas, indica onde deve-se priorizar a conservação ambiental, possibilitando vislumbrar incentivos de usos e restrições na modelagem de cenários.

Nesse sentido, as inúmeras predições podem ser utilizadas para direcionar os tomadores de decisões a respeito da paisagem futura que se deseja alcançar. Pois, em 10 e/ou vinte anos, com escolhas adequadas, pautadas no planejamento conservacionista, será possível a recuperação das APP da BRSJ. No entanto, se permanecer os usos desenvolvidos até 2015, o que de fato ocorre até o momento, as paisagens futuras serão cada vez mais degradadas.

Por outro lado, no contexto prático, para haver um planejamento conservacionista se faz necessário que os tomadores de decisões, juntamente com a comunidade, desenvolvam ações embasadas em pesquisas científicas, valorizando a paisagem local e reconhecendo a dinâmica geoecológica do ambiente semiárido. É nessa perspectiva que os procedimentos adotados e aplicados nessa pesquisa apresentam algumas possibilidades relevantes de se conhecer.

Observa-se, também, que os diferentes estudos pautados em projeções de cenários, com base no *CA-Markov*, apresentam em essência esse fim prático (HOUET; HUBERT-MOY, 2006; KAMUSOKO *et al.*, 2009; ZHANG *et al.*, 2011; ADHIKARI; SOUTHWORTH, 2012; SINGH *et al.*, 2015; MONDAL *et al.*, 2016; LIANG *et al.*, 2018). Assim, O uso da análise de cadeia *Markov* é amplamente utilizada na modelagem preditiva, no entanto a escolha de autômatos celulares é tida como quase perfeita e satisfatória para alguns autores (SANG *et al.*, 2011; SINGH *et al.*, 2015; MONDAL *et al.*, 2016) e para outros possui desempenho médio (AZARI *et al.*, 2016; BARROS, 2018). Contudo, acredita-se que a chave dos resultados alcançados depende da escolha dos processos e procedimentos coerentes com a intenção de estudo, a esse respeito estudos que analisam diferentes *softwares* de modelagem dinâmica já advertiram (MAS *et al.*, 2011, MAS *et al.*, 2014), pois os resultados das projeções futuras não têm a finalidade de apresentar uma realidade perfeita, mas sim mostrar caminhos possíveis.

#### **6.4 Sugestão de Planejamento Ambiental Conservacionista para a Bacia do Riacho São José-PE**

Os resultados apresentados ao longo da tese compreendem partes integrantes de um sistema maior alicerçado nos pressupostos teórico-metodológicos da geoecologia das paisagens e das tecnologias da informação, com possibilidades de aplicação prática no planejamento ambiental com perspectiva conservacionista para a bacia do Riacho São José no Agreste pernambucano.

De acordo com Ross (2009, p. 198), a geografia fornece informações e métodos de análise que permitem “[...] a adoção de práticas de planejamento e gestão ambiental de base territorial com elevado grau de eficiência, o que se torna possível pela condução com qualidade técnica e bases conceituais sólidas”. Para esse fim prático, é importante compreender que planejamento ambiental conservacionista prioriza “[...] a utilização racional e a preservação dos recursos naturais” com finalidade de usos antrópico (BOTELHO, 2015, p. 275). Logo, é essencial conhecer as capacidades e limitações dos componentes geoecológicos sobre os quais se pretende desenvolver o planejamento.

Dado esse esclarecimento e sabendo que planejar é projetar possibilidades de um futuro melhor. Sendo que o planejamento ambiental conservacionista, de modo geral, segue passos comuns a qualquer tipo de planejamento, são eles: (1) estabelecer a unidade de planejamento; (2) entender a organização ambiental do território; (3) diagnosticar a situação ambiental; (4) apresentar propostas concretas de gestão ambiental (Figura 112) (RODRIGUEZ; SILVA 2018).

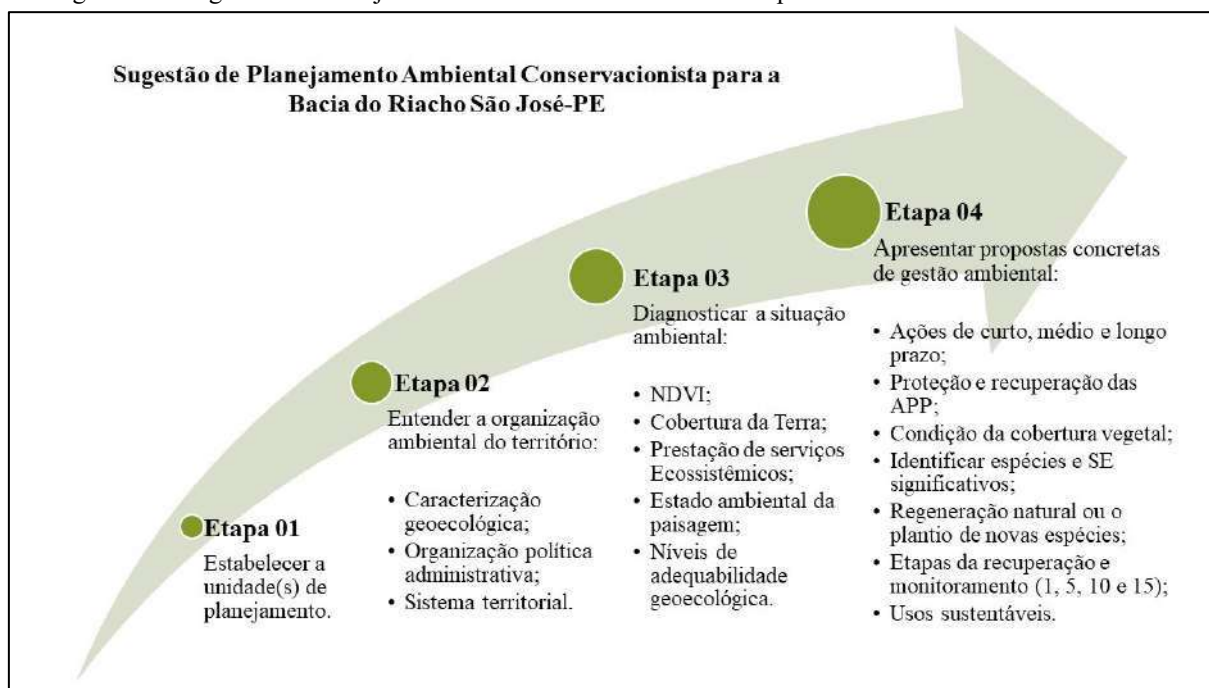
Seguindo as etapas apresentadas, tendo a BRSJ como unidade a ser planejada, o primeiro passo é construir a base de domínio teórico sobre a unidade de planejamento, metodológico e de como delimitar essa área dentro de um contexto maior e técnico para fazer uso das tecnologias da informação, ou seja, os sistemas de informações geográficas-SIGs.

Assim, informações teórico-metodológicas de bacias hidrográficas, como unidades de planejamento ambiental em diferentes perspectivas, são apresentadas em Beltrame (1994), Ross e Prette (1998), Ross (2009), Botelho (2015) e Rodriguez e Silva (2018). Ressalta-se que Ross (2009) e Rodriguez e Silva (2018) apresentam ampla discussão sobre o planejamento ambiental e as suas aplicações práticas para além do contexto de bacia hidrográfica.

O segundo passo na construção do planejamento ambiental conservacionista para a BRSJ é entender a organização ambiental do território, para isso precisa-se saber a abrangência da bacia, a delimitação política e administrativa, a caracterização geoecológica e os serviços e elementos que compõem o sistema territorial em planejamento. Essa etapa ocorre em colaboração com o terceiro passo, ou seja, o diagnóstico da situação ambiental da bacia.



Figura 112: Sugestão de Planejamento Ambiental Conservacionista para a Bacia do Riacho São José-PE.



Fonte: RODRIGUEZ; SILVA 2018. Organização: A. M. S. CHAVES, 2021

A realização de diagnóstico ambiental para uma bacia hidrográfica requer saber, em primeiro lugar, a finalidade para que será direcionado, nesse sentido, por ser voltada para a conservação do ambiente semiárido, o diagnóstico deve considerar o meio físico, a cobertura vegetal e os usos antrópicos desenvolvidos. Nesse conjunto de diagnósticos tem-se o cálculo da adequabilidade geocológica, o qual permite saber as áreas adequadas para as intervenções de usos e as que devem ser conservadas.

Tais aspectos sinalizam que a bacia vem perdendo, gradualmente, a cobertura vegetal de porte arbóreo e arbóreo arbustivo; algumas nascentes e parte dos cursos hídricos encontram-se desprovidos de vegetação ciliar; os processos erosivos têm desencadeado assoreamento dos cursos d'água; e as atividades antrópicas ocorrem em todas as áreas, com exceção das limitações de caráter físico-naturais (encostas escarpadas).

Diante das problemáticas evidenciadas, a proposta de gestão ambiental conservacionista a ser desenvolvida na bacia do Riacho São José deve compreender ações de curto, médio e longo prazo, priorizando a proteção e recuperação das áreas de proteção ambiental permanente (APP), em específico as matas ciliares das nascentes e canais de drenagem.

Essa proposta deverá ser executada mediante delimitação das APP em ambiente SIG pelo contorno de um *buffer* de 30 metros para cursos d'água e 50 para as nascentes, além da operacionalização no campo, em que as áreas prioritárias para proteção e recuperação devem ser delimitadas e cercadas. Feito isso, deve-se analisar a condição da cobertura vegetal

existente, as espécies mais significativas para o ambiente e quais serviços ecossistêmicos são prioritários, nesse caso o de regulação e manutenção e de provimento nutricional e material.

Nessa etapa deve-se indicar as áreas que apresentam condições de regeneração natural e aquelas em que deve ocorrer o plantio de espécies arbóreas endêmicas. As espécies devem ser escolhidas levando em consideração o estado ambiental da paisagem, as funções ecológicas desenvolvidas e se já existe exemplares na região, o que indica adequação às condições edáficas e climáticas locais. Assim, indica-se as seguintes espécies: *Spondias tuberosa*, *Erythrina velutina*, *Ziziphus joazeiro*, *Myracrodruon urundeuva*, *Tabebuia impetiginosa*, *Mimosa tenuiflora*, *Chloroleucon dumosum*, *Schinopsis brasiliensis*, *Poincianella pyramidalis*, *Hymenaea courbaril* e *Clusia nemorosa*.

O plantio deve ocorrer, no mínimo, em três etapas, sempre nos meses de abril a junho (final do outono e início do inverno), devido a disponibilidade de chuvas para contribuir na germinação e no enraizamento das espécies. Após o plantio, deve ser feito o monitoramento anual por cinco anos na mesma época para avaliar a taxa de crescimento, mortalidade e, quando necessário, realizar o plantio de novas mudas.

Com cinco anos de monitoramento, espera-se ter alcançado o plantio de quantidade suficiente para recomposição florestal dos cursos hídricos. De acordo com a capacidade fenológica das espécies e as condições ambientais da bacia do Riacho São José, a taxa de crescimento da vegetação pode variar entre de 0,88 metros a 1,5 m em 22 meses (CHAER *et al.*, 2010; CARVALHO, 2016), logo, 10 anos são suficientes para as espécies estarem desenvolvidas, cumprindo suas funções ambientais e prestando serviços ecossistêmicos.

Após os primeiros 15 anos, os cinco anos seguintes serão necessários para que todas as espécies tenham, no mínimo, 10 anos. Após esse tempo de 20 anos, poderá ser desenvolvido usos sustentáveis nas áreas recuperadas, as quais devem ser mantidas em conservação. Nesse sentido, os serviços ecossistêmicos obtidos precisam respeitar a integridade do ambiente ciliar.

Por fim, a presente proposta esboçada é apenas um dos possíveis caminhos que podem ser seguidos para a conservação do ambiente semiárido, pois, como apresentado nos cenários, as possibilidades dependem de ações sociais e políticas com essa finalidade, cabendo aos tomadores de decisão serem sábios na escolha do caminho a ser trilhado.

---

## CONCLUSÕES

---

## CONCLUSÕES

A paisagem do ambiente semiárido revela uma dinâmica resultante das interações geoecológicas e modificações antrópicas em diferentes intensidades ao longo do tempo. Situação verificada no sistema territorial e ambiental da bacia do Riacho São José, localizada na região de desenvolvimento Agreste Meridional do estado de Pernambuco.

Diante desse entendimento, a presente tese, intitulada *Dinâmica Geoecológica e Cenários Potenciais para Conservação da Paisagem Semiárida na Bacia do Riacho São José em Pernambuco*, colocou em tela a importância de se entender o ambiente semiárido a partir da perspectiva teórica e metodológica da geoeecologia da paisagem voltada ao planejamento ambiental e modelagem preditiva de cenários prospectivos.

Compreendendo uma pesquisa alicerçada na Geografia Física Aplicada, a tese é constituída por seis capítulos que dialogam entre si, conseguiu-se alcançar o objetivo principal, que foi analisar a dinâmica geoeecológica da bacia do Riacho São José, no Agreste de Pernambuco, para propor cenários prospectivos com fins para a conservação da paisagem semiárida, por meio dos desdobramentos dos objetivos específicos.

Nos dois capítulos iniciais, apresentou-se o desenvolvimento das abordagens teóricas e metodológicas seguidas nos capítulos em que os resultados são sistematizados e dialogados. No primeiro capítulo, apresentou-se as categorias de análise geográficas que alicerçam a pesquisa através da contextualização teórica da paisagem e a sua relação com a geoeecologia, o território, o planejamento ambiental em interfaces da paisagem e o território, encerrando o texto com uma explanação sobre o planejamento conservacionista no contexto de bacia hidrográfica.

Por sua vez, o segundo capítulo expôs o método e a abordagem metodológica adotada, bem como descreve os procedimentos técnicos e operacionais necessários para a cada etapa da pesquisa aqui construída. Visto que, acredita-se ser importante demonstrar o caminho percorrido em todas as especificidades operacionais.

Os capítulos seguintes trazem em tela os resultados de modo quantitativo e qualitativo, buscando responder aos questionamentos elencados na introdução da pesquisa. Assim, para responder quais são os componentes Geoeecológicos que configuram a paisagem da bacia do Riacho São José, primeiro apresentou os componentes geoeecológicos que configuram a paisagem (capítulo III), com destaque para as interações entre os condicionantes climáticos (balanço hídrico e temperatura da superfície terrestre), geologia e solo, relevo e as especificidades da morfometria, além de breve apresentação da cobertura vegetal.

É válido salientar que todos os componentes geoecológicos estão em interações dinâmicas, caracterizando as especificidades paisagísticas de forma alongada delineada sobre o planalto da Borborema e a depressão do baixo São Francisco sobre distintas influências da precipitação, cujas fitofisionomias variam no sentido Leste para Oeste. Características essas que influenciam nos modos de apropriação e no uso do território.

Por tratar-se de bacia em área semiárida moderada e subúmida de transição, em que a Leste se tem formações vegetais de mata de altitude e caatinga arbórea/arbustiva, foi dada atenção especial no quarto capítulo, buscando entender como está estruturada a dinâmica fitogeografia da bacia do Riacho São José, a qual revelou uma área de transição da dinâmica fitogeografia evidenciada na estrutura horizontal por meio da espacialização da vegetação pelo índice de vegetação normalizada (NDVI); a estrutura vertical na construção de pirâmides de vegetação; e a diversidade florística por índices específicos.

Tais aspectos permitiram visualizar sobre o terreno da BRSJ as fitofisionomias arbórea, arbórea-arbustiva, arbustiva, herbácea e rupestre. Identificando as áreas onde a vegetação vem sendo degradada ao longo dos últimos trinta anos (de 1985 a 2015), como também indicativos de onde se mantém as características naturais, ou seja, porções representativas das espécies vegetais, as quais são comuns sobre relevo forte ondulado, montanhoso e escarpado, feições de serras, vales e encostas que impõem limitações aos usos antrópicos.

Assim, constatou pelo NDVI que a vegetação arbórea e arbórea-arbustiva reduziu ao logo do recorte espaço-temporal estudado, por outro lado houve aumento na fitofisionomia herbácea. Situação que revela a substituição das áreas de vegetação natural por áreas agrícolas a exemplo de pastagem. Por sua vez, a classe das arbustivas se mantiveram constante, entre 35% e 45% da área territorial da bacia do Riacho São José.

Perante a espacialização do NDVI, escolheu-se pontos onde a vegetação era expressiva para aplicação de metodologias específicas de campo na identificação, quantificação e representação gráfica das espécies por meio de pirâmides e estimativas de diversidade. Assim, fazendo uso de métodos fitossociológicos identificou-se cinquenta e seis espécies pertencentes a vinte cinco famílias vegetais, com maior dominância para as *Cactaceae* com cinco espécies, *Euphorbiaceae* com nove espécies, *Fabaceae* com onze espécies.

A vegetação foi representada graficamente por meio de pirâmides de vegetação (PV), constatando que os estratos vegetais predominantemente (espécies arborescentes e arbustivas) estão em dinâmica de equilíbrio e as herbáceas em progressão. Mudança nessa dinâmica foi constatado para as espécies arbóreas e subarbustivas que apresentaram regressão na PV 1 e PV 3, respectivamente.



Sobre as medidas de diversidade, constatou-se bons resultados para a BRSJ, com destaque o índice de diversidade Shannon que foi de 3.13, acima do verificado em outros ambientes semiáridos. A uniformidade de Pielou (de 0.81) e dominância Simpson (de 0.94) mensurados para a bacia compreendem expressões similares às de outras áreas do Agreste pernambucano e semiárido nordestino. No geral esses índices revelam valores satisfatórios, indicando riqueza de espécies, boa uniformidade e ótima dominância.

Após delineamento da dinâmica fitogeográfica, buscou-se identificar quais eram os padrões que configuram o sistema territorial da bacia do Riacho São José e a prestação de serviços ecossistêmicos, construindo assim o quinto capítulo da tese. Logo, fez-se o mapeamento espacial e temporal da cobertura da Terra (1985 a 2015) e verificando as apropriações antrópicas por meio de atividades de campo, representando os padrões que configuram o sistema territorial e identificando a prestação dos serviços ecossistêmicos e os impactos associados.

Nesse contexto, delimitou-se a organização política-administrativa na qual a BRSJ está inserida, compreendendo a área territorial de três municípios e fazendo parte de 10 setores censitários. Observou-se pouca mudança no padrão das coberturas classificadas em vegetação natural, antrópicas agrícolas, outras áreas e água, essa última só visualizada em reservatórios com área mínima de 30 m<sup>2</sup> devido a resolução das imagens Landsat. Os usos antrópicos comuns são atividades agrícolas e pecuária de extensão, com destaque a instalação de parques eólicos a partir do ano de 2013 nas cotas mais elevadas do planalto da Borborema.

O sistema territorial da BRSJ e adjacências se destacam pelas inúmeras atividades desenvolvidas e estabelecimentos instalados, como escolas, padarias, mercados, bares, capelas, borracharias, sítios arqueológicos e cachoeiras. A essas atividades se somam 51 serviços ecossistêmicos prestados, sendo 22 de provimento com fins nutricionais e materiais, 19 com função de manutenção e regulação das condições ambientais e 10 culturais com destaque para as atividades físicas, de saúde, de lazer, tradicionais e científicas. Observou-se, também, que são as áreas de vegetação natural que desempenham mais funções ecológicas.

Diante dos resultados apresentados, traz-se o último capítulo da tese (VI), o qual respondeu como as interações geoecológicas e os usos antrópicos refletem na adequabilidade da paisagem da bacia do Riacho São José. Para isso, primeiro foi apresentada a compartimentação geoecológica em três unidades: Terras Altas (UGEO-01), sobre as cotas acima de 870 metros de altitude com relevo plano a ondulado; Serras, Vales e Escarpas (UGEO-02), em áreas de relevo movimentado e dissecado; Terras Baixas (UGEO-03), sobre terreno aplainado abaixo de 550 metros de altitude.

Sobre cada unidade geoecológica foi analisado o estado ambiental da paisagem, revelando que a estabilidade paisagística é mediantemente estável na UGEO-02, enquanto na UGEO-01 e na UGEO-03 ocorre maiores processos degradantes, configurando estabilidades instável e crítica. Esses aspectos, da apropriação e transformação do solo juntamente com os componentes geoecológicos que estruturam a feições da BRSJ, são integrados e representados por meio de perfis geoecológicos.

Tais dados refletiram as interações geoecológicas e os usos antrópicos por meio da estimação dos níveis de adequabilidade geoecológica para BRSJ, constatando que 43% da área territorial da bacia, com destaque as unidades geoecológicas 01 e 03, são adequadas ao desenvolvimento das atividades antrópicas; 23,37% compreende áreas inadequadas a apropriação, por isso devem ser mantidas em conservação; e 33,64% da bacia é considerada parcialmente adequada.

Diante da realidade investigada, se constatou a necessidade de se pensar o planejamento ambiental voltado para a conservação da vegetação arbórea e arbustiva, a qual vem sendo reduzida ao longo do tempo. Tal observação delineou a resposta para última questão norteadora da tese, delinear os cenários prospectivos possíveis para a realidade da bacia do Riacho São José com fins a conservação do ambiente semiárido.

Nesse contexto, foi importante entender que para se desenvolver um planejamento conservacionista foi preciso delinear a bacia do Riacho São José como unidade de planejamento; conhecer a organização territorial, o que se fez em tópicos dos capítulos III e V; fazer um diagnóstico ambiental, como pode ser identificado nos capítulos III, IV, V e na primeira parte do capítulo VI e apresentar as propostas de cenários futuros.

Assim, conhecendo os níveis de adequabilidade geoecológica aos usos antrópicos, as condições territoriais e ambientais da bacia e suas áreas de preservação permanente (APP), pode-se realizar a modelagem preditiva de três conjuntos de cenários, para os anos de 2025 e 2035, no modelador CA-Markov. Desse modo, foi constatado que é possível a conservação e recuperação das APPs e a diminuição das áreas de solo exposto e degradados em um período de 20 anos, caso ações efetivas sejam tomadas nessa direção. Essa situação é constatada apenas em um dos nove cenários preditivos.

No primeiro conjunto de cenários, de caráter apenas projetivo, considerando a atual cobertura da terra sem se preocupar com um planejamento ambiental, constatou-se não ter uma redução significativa nas áreas de vegetação natural para 2025 e 2035a/b, mas as áreas degradadas dobraram, saindo de 6,40% para 12,95%. Futura realidade que mudará se for

aderido um planejamento conservacionista para a BRSJ, como verificou-se nos outros dois conjuntos modelados.

O primeiro conjunto de cenários conservacionistas revelaram leve acréscimo das áreas de vegetação natural e redução das áreas degradadas, mas não permitiu a recuperação das APP dos cursos hídricos. O que foi conseguido apenas no cenário 2015/2035 da modelagem preditiva do segundo conjunto conservacionista, o qual evidenciou aumento significativo da classe vegetação e redução nas demais cobertura da terra.

Diante dos resultados alcançados, a hipótese da tese foi atendida, pois produziu resultados coerentes com a realidade do ambiente semiárido constatando que a modelagem de cenários futuros para o ambiente semiárido da bacia do Riacho São José deve ser pautando no planejamento ambiental conservacionista, englobando o estudo da dinâmica geoecológica, em seus níveis de interações físico-naturais e socioambientais. O que é possível e viável, quando pensado pelo contexto da adequabilidade entre os componentes geoecológicos e os modos de apropriação e transformação do sistema territorial, entendendo a relação da sociedade com o meio em que está inserida.

Portanto, reconhece-se que a tese apresenta um panorama das possibilidades delineadas dentro da Geografia Física Aplicada conforme algumas perspectivas da geoecologia das paisagens em bacia semiárida. Em que é destacado a aplicabilidade de diferentes metodologias, como também se traz uma proposta flexível e inovadora por meio da álgebra de mapas em ambiente SIG, pensada nos níveis de adequabilidade geoecológica aos usos antrópicos, com finalidade de propor o planejamento ambiental conservacionista.

Destarte, é importante o desenvolvimento de novas pesquisas dentro da perspectiva apresenta, seja em bacias hidrográficas em suas diferentes escalas, seja em outras unidades de planejamento ambiental. Pois é relevante pensar para o futuro novos desdobramentos e melhoramentos da proposta executada, visto ser de fácil compreensão metodológica e possível de adaptação para diferentes ambientes SIG, com destaque para os de livre acesso. Sendo essencial, enquanto pressuposto, reconhecer e entender as interações geoecológicas que configuram a dinâmica ambiental do território refletida em diferentes paisagens geográficas.

---

## REFERÊNCIAS

---

## REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. **Os domínios da natureza do Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editora, 2003. 158 p.
- AB'SÁBER, A. N. **Escritos ecológicos**. 2. ed. São Paulo: Lazuli Editora, 2006. 167 p.
- AB'SÁBER, A. N. **Ecosystemas do Brasil**. São Paulo: Metalivros, 2011. 299 p.
- ABUELAISH, B.; OLMEDO, M. T. C. Scenario of land use and land cover change in the Gaza Strip using remote sensing and GIS models. **Arabian Journal of Geosciences**, Riyadh-Saudi Arabia, v.9, n. 274, p. 1-14, mar. 2016. DOI 10.1007/s12517-015-2292-7. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12517-015-2292-7>. Acesso em: 10 abr. 2020.
- ABURAS, M. M.; HO, Y. M.; RAMLI, M. F.; ASH'AARI, Z. H. Improving the capability of an integrated CA-Markov model to simulate spatio-temporal urban growth trends using an Analytical Hierarchy Process and Frequency Ratio. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Enschede-Holland, v. 59, p.65–78, jul. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.03.006>. Acesso em: 22 mar. 2020.
- ACCIOLY, L. J. O.; SILVA, E. A.; CAVALCANTI JUNIOR, E. A.; ALVES, E. S.; PEREIRA, A. G. S.; SILVA, R. S.; RAMOS, R. R. D.; SILVA, R. R. **Mapeamento do uso e cobertura das terras do semiárido pernambucano**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2016. 100 p. Disponível em: <http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=1079144&biblioteca=vazio&busca=1079144&qFacets=1079144&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- ADHIKARI, S; SOUTHWORTH, J. Simulating Forest Cover Changes of Bannerghatta National Park Based on a CA-Markov Model: A Remote Sensing Approach. **Remote Sensing**, Basel-Switzerland, v. 4, n. 10, p. 3215-3243, oct. 2012. DOI 10.3390/rs4103215. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs4103215>. Acesso em: 15 mar. 2020.
- AGRITEMPO, Sistema de Monitoramento Agrometeorológico. **Estações meteorológicas para o estado de PE**. Disponível em: <https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/Estacao/index.jsp?siglaUF=PE>. Acesso em: 09 de outubro de 2018.
- ALCAMO, J. *et al.* **Ecosystems and human well-being: a framework for assessment / Millennium Ecosystem Assessment**. Washington - EUA: Island Press, 2003. 245 p. Disponível em: [https://pdf.wri.org/ecosystems\\_human\\_wellbeing.pdf](https://pdf.wri.org/ecosystems_human_wellbeing.pdf). Acesso em: 03 de outubro de 2019.
- ALCOFORADO-FILHO, F. G.; SAMPAIO, E. V. S. B.; RODA, M. J. N. Florística e fitossociologia de um remanescente de vegetação caducifolia espinhosa arbórea em Caruaru, Pernambuco. **Acta Botânica Brasileira**. São Paulo, V.17, n. 2, p. 287-303, jul./set. 2003.
- ALEXANDER, E. B.; COLEMAN R. G.; KEELER-WOLF, T.; HARRISON, S. **Serpentine geocology of Western North America: Geology, Soils, and Vegetation**. New York: Oxford, 2007. 512p.



ALVES, L. S. F. Culturas de ordenamento territorial: Conceituações e perspectivas histórico analíticas. **Mercator**, Fortaleza-CE, v. 13, n. 3, p. 63-73, set./dez. 2014. DOI 10.4215/RM2014.1303.0005. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/1220>. Acesso em: 07 ago. 2018.

ALVES JUNIOR, F. T.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; MARANGON, L. C.; CESPEDDES, G. H. G. Regeneração natural de uma área de caatinga no Sertão Pernambucano, Nordeste do Brasil. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 2, p. 229-235, abr./jun. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cerne/v19n2/a06v19n2.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2019.

ANDERSON, J. R.; HARDY, E. E.; JOHN T. R.; WITMER, R. E. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. **Geological Survey Professional Paper**, Washington-US, n. 964, p. 1-28, 1976. Disponível em: <<https://pubs.usgs.gov/pp/0964/report.pdf>>. Acesso em: 31 de maio de 2019.

ANDRADE, L. A.; PEREIRA, I. M.; LEITE, U. T.; BARBOSA, M, R, V. Análise da cobertura de duas fitofisionomias de caatinga, com diferentes históricos de uso, no município de São João do Cariri, Estado da Paraíba. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 253-262, jul./set. 2005. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=74411305>. Acesso em: 12 jun. 2019.

ARAÚJO, E. D. S.; MACHADO, C. C. C.; SOUZA, J. O. P. Comparação entre o IVDN e o IVAS para vegetação de caatinga nas serras sertanejas-PB. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia-MG, v. 20, n. 71, p.328-343, set. 2019. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/45661>. Acesso em: 15 jun. 2020.

ARAUJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Ed. 6. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 320 p.

ARAÚJO, K. D.; DANTAS, R. T.; ANDRADE, A. P.; PARENTE, H. N.; ÉDER-SILVA, É. Uso de espécies da Caatinga na alimentação de rebanhos no município de São João do Cariri –PB. Revista **RA’EGA**, Curitiba-PR, n. 20, p. 157-171, 2010. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/20619/13769>. Acesso em: 10 jan. 2020.

ASSIS, F. R. V.; LIMA, J. R.; MENDONÇA, I. F. C.; SILVA, J. E. R.; SANTOS, H. C. M.; MEDEIROS, J. X. Uso do geoprocessamento no estudo da cobertura dos solos no semiárido brasileiro. **Scientia Plena**, São Cristóvão-SE, v. 8, n. 4, p. 01-06, abr. 2012. Disponível em: <https://www.scientiaplenua.org.br/sp/article/view/1009>. Acesso em: 23 ago. 2019.

AZARI, M.; TAYYEBI, A.; HELBICH, M.; REVESHTYA, M. A. Integrating cellular automata, artificial neural network, and fuzzy set theory to simulate threatened orchards: application to Maragheh, Iran. **GIScience & Remote Sensing**, Palm Beach-FL, v. 53, n. 2, p. 183-205, jan. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15481603.2015.1137111>. Acesso em: 19 mar. 2020.

BARSCH, D. **Rockglaciers**: Indicators for the Present and Former Geoecology in High Mountain Environments. Heidelberg: Springer, 1996. E-book. 331 p. DOI 10.1007/978-3-642-80093-1.

BARBOSA, H. A., HUETE, A. R., BAETHGEN, W. E. A 20-year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. **Journal of Arid Environments**. New York, v. 67, n. 2, p. 288-307, out, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.02.022>. Acesso em: 31 maio 2020.

BARBOSA, L. G. **Análise de sistemas em Biogeografia: estudo diagnóstico da cobertura vegetal da Floresta Nacional de Palmares, Altos, Piauí/Brasil**. 2015. 184f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2015.

BARBOSA, L. N.; LIMA, V. G. F.; FARIAS, J. F.; SILVA, E. V. Caracterização geoecológica do estuário do rio Pacoti-Ceará: ações para um planejamento integrado. **Revista de Geociências do Nordeste**, Caicó-RN, v. 2, n. Especial, p. 971-980, out. 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/10560>. Acesso em: 05 abr. 2021.

BARBOSA, M. D.; MARANGON, L. C.; FELICIANO, A. L. P.; FREIRE, F. J.; DUARTE, G. M. T. Florística e fitossociologia de espécies arbóreas e arbustivas em uma área de caatinga em Arcoverde, PE, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.36, n.5, p.851-858, set./out. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000500007>. Acesso em: 20 abr. 2020.

BATISTA, J. L. O.; SANTOS, R. L. Análise da dinâmica do uso e ocupação da terra em pequenos municípios baianos do semi-árido brasileiro: o caso de Teofilândia. **Revista de Geografia Norte Grande**, Santiago-Chile, n. 49, p. 139-155, 2011. Disponível em: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rgeong/n49/art09.pdf>. Acesso em: 13 set. 2019.

BARROS, K. O.; RIBEIRO, C. A. A. S.; MARCATTI, G. E.; LORENZON, A. S.; CASTRO, N. L. M.; DOMINGUES, G. F.; CARVALHO, J. R.; SANTOS, A. R. Markov chains and cellular automata to predict environments subject to desertification. **Journal of Environmental Management**, London- England, v. 225, p. 160-167, nov. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.064>. Acesso em: 05 abr. 2020.

BARROS, L. L. Aplicações de geoeecologia da paisagem no planejamento ambiental e territorial dos parques urbanos brasileiros. **Revista Geográfica da América do Central**, Heredia-Costa Rica, v. 42, n. 47E, p.1-14, 2011. Disponível em: <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/2606/2489>. Acesso em: 07 out. 2018.

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1994. 111p.

BERQUE, A. Paisagem-marca, paisagem-matriz: elementos da problemática para uma geografia cultural. In: CORRÊA, R. L.; ROSENDAHL, Z (org.). **Paisagem, tempo e cultura**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 1998. Cap. 4, p. 84-91.

BERTRAND, G. Pour une étude géographique de la végétation. Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest, Toulouse-FR, v. 37, n. 2, pp. 129-144, 1966. Disponível em: [https://www.persee.fr/doc/rgpso\\_0035-3221\\_1966\\_num\\_37\\_2\\_4544](https://www.persee.fr/doc/rgpso_0035-3221_1966_num_37_2_4544). Acesso em: 15 agosto de 2018.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico. Revista **RA'EGA**, Curitiba-PR, n. 8, p. 141-152, 2004. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/3389/2718>. Acesso em: 20 fev. 2018.

BERTRAND, G.; BERTRAND, C. **Uma geografia transversal e de travessias: o meio ambiente através dos territórios e das temporalidades**. Maringá: Editora Massoni, 2007. 332 p.

BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos temas e aplicações**. ed. 10. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. Cap. 8, p. 269-300.

BOLFE, E. L.; PEREIRA, R. S.; MADRUGA, P. R. A.; FONSECA, E. L. Avaliação da classificação digital de povoamentos florestais em imagens de satélite através de índices de acurácia. **Revista Árvore**, Voçosa-MG, v.28, n. 1, jan./fev. 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rarv/v28n1/a11v28n1.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2019.

BOHRER, C. B. A. **Ecology and Biogeography of a Atlantic Montane Forest in Southeastern Brazil**. 1998. 243 f. Tese (doutorado em Geografia) – Universidade de Edimburgo, Edimburgo, 1998.

BRASIL, **Decreto nº 5.334 de 6 de janeiro de 2005**. Dá nova redação ao art. 21 e revoga o art. 22 do decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, que estabelece as instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2005/Decreto/D5334.htm#:~:text=DECRETO%20N%C2%BA%205.334%20DE%20Normas%20T%C3%A9cnicas%20da%20Cartografia%20Nacional](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Decreto/D5334.htm#:~:text=DECRETO%20N%C2%BA%205.334%20DE%20Normas%20T%C3%A9cnicas%20da%20Cartografia%20Nacional). Acesso em: 12 dez. 2018.

BRASIL, **Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm). Acesso em: 09 maio 2020.

BRASIL, Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de áreas de preservação permanente. **Diário Oficial da União**: Seção 1, n. 90, p. 68, 13 maio 2002. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=299>. Acesso em: 10 de nov. 2020.

BRITO, A. **Acurácia e precisão do mapeamento da flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais**. 2008. 110 f. Dissertação (mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

BRUNETTO, I. S. **Planejamento conservacionista no assentamento Tracutinga (Dionísio Cerqueira-S.C.)**. Florianópolis, 1997, 39 p. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/30395965.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2021.

BURRETT, R. **Biodiversity and Ecosystem Services: Bloom or Bust?**. Genève-Switzerland: UNEP FI, 2008. 37p. Disponível em: [https://www.unepfi.org/fileadmin/documents/bloom\\_or\\_bust\\_report.pdf](https://www.unepfi.org/fileadmin/documents/bloom_or_bust_report.pdf). Acesso em: 09 set. 2019.

CAJAIBA, R.L; SILVA, W.B; PIOVESAN, P.R.R Animais silvestres utilizados como recurso alimentar em assentamentos rurais no município de Uruará, Pará, Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente-DMA**, Curitiba-PR. v.34, 157-168p, ago. 2015. DOI 10.5380/dma.v34i0.38889. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v34i0.38889>. Acesso em: 25 jan. 2020.

CALADO, A. C. A.; DUARTE, C. C. Geoprocessamento aplicado ao mapeamento da cobertura da terra e do potencial erosivo da bacia hidrográfica do rio manicoba, sub bacia do Rio Ipojuca, Sanharó/PE. In: PINHEIRO, L. S.; GORAYEB, A. (org). **Geografia física e as mudanças globais**. Fortaleza: Editora UFC, 2019. E-book. p. 01-12. Disponível em: <http://www.editora.ufc.br/images/imagens/pdf/geografia-fisica-e-as-mudancas-globais/1238.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2020.

CALIXTO JÚNIOR, J. T.; DRUMOND, M. A. Estrutura fitossociológica de um fragmento de caatinga sensu stricto 30 anos após corte raso, Petrolina-PE, Brasil. **Revista Caatinga**, Mossoró-RN, v. 24, n. 2, p. 67-74, abr./jun. 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/1917>. Acesso em: 07 jul. 2020.

CAPDEVILA, M. T. B. Problemática actual de los estudios de paisaje integrado. **Revista de Geografia**, Lleida-ES, v. 15, n. 1, p. 45-68, 1981. Disponível em: <https://www.raco.cat/index.php/RevistaGeografia/article/view/45940/56766>. Acesso em: 12 maio 2018.

CASAS DOS VENTOS. **Casa dos Ventos inaugura maior complexo eólico de Pernambuco**. Disponível em: <https://casadosventos.com.br/pt/nosso-compromisso/missao-e-valores>. Acesso em: 23 de agosto de 2019.

CAVALCANTI, L. C. S. **Cartografia de paisagens: fundamentos**. São Paulo: Oficina de Texto, 2014. 95p.

CARVALHO, J. N. **Espécies nativas da caatinga para recuperação de áreas degradadas: prospecção, ecofisiologia da germinação e crescimento de plantas**. 95 f. 2016. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, 2016. CESTARO, L. A.; SOARES, J. J. Variações florística e estrutural e relações fitogeográficas de um fragmento de floresta decídua no Rio Grande do Norte, Brasil. **Acta Botânica Brasileira**, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 203-218, abr./jun. 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062004000200001>. Acesso em: 19 jun. 2020.

CHAER, G. M.; AZEVEDO, C. R. C.; MIRANDA, C. A. K.; CARPEGGIANI, B. P.; LIMA, K. D. R.; ARAÚJO, J. E.; SILVA, A. P.; RESENDE, A. S. Avaliação do desenvolvimento de espécies arbóreas em jazidas de extração de piçarra. In: RESENDE, A. S.; CHAER, G. M. (ORGs). **Manual para recuperação de áreas degradadas por extração de piçarra na Caatinga**. Seropédica-RJ: Embrapa Agrobiologia, 2010. Cap, 04. p. 51-68. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/874047/manual-para-recuperacao-de-areas-degradadas-por-extracao-de-picarra-na-caatinga>. Acesso em: 03 nov. 2020.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures, and postcalibration dynamic ranges. **IEEE Transactions On Geoscience and Remote Sensing**, Piscataway-NJ, v. 41, n. 11, p. 2674- 2677, nov. 2003. DOI 10.1109/TGRS

.2003.818464. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1245255/authors#authors>. Acesso em: 15 ago. 2017.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; BARSİ, J. A. B. Revised landsat-5 thematic mapper radiometric calibration. **IEEE Transactions On Geoscience and Remote Sensing**, Piscataway-NJ, v. 4, n. 3, p. 490-494, jul. 2007. DOI: 10.1109/LGRS.2007.898285. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4271443>. Acesso em: 15 ago. 2017.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, n 5, p. 893-903, may, 2009. DOI 10.1016/j.rse.2009.01.007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007>. Acesso em: 18 ago. 2017.

CHAVES, A. M. S.; MELO & SOUZA, R. Identificação de áreas para construção de pirâmides de vegetação através do índice de vegetação pela diferença normalizada. In: PINHEIRO, L. S.; GORAYEB, A. (org). **Geografia física e as mudanças globais**. Fortaleza: Editora UFC, 2019. E-book. p. 01-12. Disponível em: <http://www.editora.ufc.br/images/imagens/pdf/geografia-fisica-e-as-mudancas-globais/449.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2020.

CHAVES, A. M. S. Adequabilidade geoecológica de uso e cobertura da terra na bacia do Riacho São José, Pernambuco. In: Encontro Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia, 13., 2019, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: USP, 2019. Disponível em: [http://www.enanpege.ggf.br/2019/resources/anais/8/1562186850\\_ARQUIVO\\_Textoproposto paraoENANPEGE-CHAVES.pdf](http://www.enanpege.ggf.br/2019/resources/anais/8/1562186850_ARQUIVO_Textoproposto paraoENANPEGE-CHAVES.pdf). Acesso em: 10 dez. 2019.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 1980. 188 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Editora Blucher, 1999. 236 p.

COELHO, V. H. R.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ALMEIDA, C. N.; LIMA, E. R. V.; RIBEIRO NETO, A.; MOURA, G. S. S. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 18, n. 1, p. 64-72, jan. 2014. DOI 10.1590/S1415-43662014000100009. Disponível: <http://www.agriambi.com.br/revista/v18n01/v18n01a09.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2019.

CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, New York-US, v. 37, n. 1, p. 35-46, jul. 1991. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B). Acesso em: 12 maio 2020.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. 2. ed. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group, 2009. E-book. 183 p. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/9781420055139>. Acesso em: 20 maio 2020.

CONTI, J. B. Considerações sobre mudanças climáticas globais. In: SANT'ANNA NETO, J. L.; ZAVATINI, J. A. (org.). **Variabilidade e mudanças climáticas: implicações ambientais e socioeconômicas**. Maringá: Eduem, 2000. cap. 01, p. 17-28.



CORRÊA, A. C. B.; TAVARES, B. A. C.; MONTEIRO, K. A.; CAVALCANTI, L. C. S.; LIRA, D. R. Megageomorfologia e morfoestrutura do planalto da Borborema. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 31, n.1-2, p. 35-52, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5935/0100-929X.20100003>. Acesso em: 09 set. 2018.

CORRÊA, A. C. B.; SOUZA, J. O.; CAVALCANTI, L. C. Souza. Solos do ambiente semiárido brasileiro: erosão e degradação a partir de uma perspectiva geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (org.). **Degradação dos solos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. cap.04, p. 127-169.

CORTEZ, A. S. **Métodos de cenários prospectivos como ferramenta de apoio ao planejamento relativo a substituição do atual uso do solo por florestamento: estudo de caso: a bacia do rio Ibicuí-RS**. 235 f. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

COUTINHO, L. M. **Biomass brasileiros**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016. 128 p.

CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Mapa geodiversidade do Brasil, escala 1:2.500.000**. Brasília: CPRM, 2006. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/10169>. Acesso em: 20 mar. 2018.

CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Serviço Geológico do Brasil – SGB**. Disponível em: <http://geosgb.cprm.gov.br/>. Acesso em: 15 mar. 2018.

DAVIES, G. Bushmeat and international development. **Conservation Biology**. Boston-US, V. 16, n. 3, p. 587-589, jun. 2002. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/3061204>. Acesso em: 15 jan. 2020.

DIAS, C. H. S. **Medidas de diversidade de plantas aplicadas na diferenciação de tipos de uso da terra na Amazônia Oriental**. 2020. 124 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2020.

DIBIESO, E. P. **Planejamento ambiental e gestão dos recursos hídricos: estudo aplicado à bacia hidrográfica do manancial do alto curso do Rio Santo Anastácio - São Paulo / Brasil**. 2013. 283 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2013.

DINIZ, M. T. M. Contribuições ao ensino do método hipotético-dedutivo a estudantes de geografia. **Geografia Ensino & Pesquisa**, Santa Maria-RS, v. 19, n. 2, p. 107-111, maio/ago. 2015. DOI 10.5902/2236499412995. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/geografia/article/view/12995>. Acesso em: 17 jan. 2019.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. 3. ed. São Paulo: DIFEL, 1986. 206 p.

EASTMAN, J. R. **IDRISI Selva: guia para SIG y procesamiento de imágenes**. Córdoba, 2012. Disponível em: <http://clarklabs.org/wp-content/uploads/2016/10/IDRISI-Selva-Spanish-Manual.pdf>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2020.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília-DF: EMBRAPA, 2018. 356 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>. Acesso em: 12 jan. 2019.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Zoneamento agroecológico de Pernambuco (ZAPE)**. Recife: Embrapa Solos - UEP, 2001.

EGENHOFER, M. J.; BRUNS, H. T. Visual Map Algebra: a direct-manipulation user interface for GIS. In: SPACCAPIETRA, S.; JAIN, R. (Org.). **Visual Database Systems 3: Visual information management**. Boston: Springer, 1995, p. 135-153. Disponível em [https://doi.org/10.1007/978-0-387-34905-3\\_15](https://doi.org/10.1007/978-0-387-34905-3_15). Acesso em: 14 abr. 2020.

FARIAS, J. F. Aporte teórico e metodológico da geocologia das paisagens para os estudos em bacias hidrográficas. **Revista Equador**, Teresina, v. 9, n. 2, p.19-33, 2020. Disponível em: <https://revistas.ufpi.br/index.php/equador/article/view/10356>. Acesso em: 26 mar. 2021.

FARIAS, J. F. **Zoneamento geocológico como subsídio para o planejamento ambiental no âmbito municipal**. 2012, 193 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

FARIAS, J. F. **Aplicabilidade da geocologia das paisagens no planejamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Palmeira-Ceará/Brasil**. 2015. 222 f. Tese (doutorado em geografia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

FARIAS, J. F; SILVA, E. V. Compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Palmeira-Ceará: subsídios ao planejamento ambiental. **Geosaberes**, Fortaleza, v. 6, n. especial 1, p. 149 – 163, out. 2015.

FARIAS, J. F; SILVA, E. V.; NASCIMENTO, F. R. Caracterização de sistemas ambientais como base metodológica para o planejamento ambiental em bacias hidrográficas semiáridas. **Revista GeoAmazônia**, Belém, v. 03, n. 06, p. 14-27, jul./dez. 2015. Disponível em: [http://www.geoamazonia.net/index.php/revista/article/view/83/pdf\\_55](http://www.geoamazonia.net/index.php/revista/article/view/83/pdf_55). Acesso em: 26 mar. 2021.

FARIAS, J. F; SILVA, E. V.; RODRIGUEZ, J. M. M. Aspectos do uso e ocupação do solo no semiárido Cearense: análise espaço-temporal (1985 - 2011) sob o viés da geocologia das paisagens. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 06, n. 02, p. 136-147, 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/232844/26839>. Acesso em: 05 abr. 2021.

FERNANDES, M. R. M.; MATRICARDI, E. A. T.; ALMEIDA, A. Q.; FERNANDES, M. M. Mudanças do uso e de cobertura da terra na região semiárida de Sergipe. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 4, p. 472-482, 2015. Disponível em: <https://www.floram.org/article/doi/10.1590/2179-8087.121514>. Acesso em: 31 mar. 2021.

FERRÃO, J. Governança e ordenamento do território: reflexões para uma governança territorial eficiente, justa e democrática. **Prospectiva e Planejamento**, Lisboa-PT, v. 17, p. 129-139, 2010. Disponível em: [https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/20098/1/ICS\\_JFerrao\\_Governanca\\_ARN.pdf](https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/20098/1/ICS_JFerrao_Governanca_ARN.pdf). Acesso em: 03 nov. 2018.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos pacífico e atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba-PR, v. 1, n. 1, p. 15-28, dez. 2005. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25215/16909>. Acesso em: 10 out. 2018.

FERREIRA, J. M. S.; FERREIRA, H. S.; SILVA, H. A.; SANTOS, A. M.; GALVÍNCIO, J. D. Análise espaço-temporal da dinâmica da vegetação de caatinga no município de Petrolina-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 04, n. 04, p. 904-922, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/232892>. Acesso em: 25 abr. 2020.

FIGUEIRÓ, A. S. **Biogeografia: dinâmicas e transformações da natureza**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 384 p.

FIGUEIREDO, G. C.; VIEIRA, C. A. O. Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2007, p. 5755- 5762.

FIGUEIRA, M. L. O. A.; CARRER, C. R. O.; SILVA NETO, P. B. Ganho de peso e evolução do rebanho de queixadas selvagens em sistemas de criação semi-extensivo e extensivo, em reserva de Cerrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 32, n. 01, p. 191-199, fev. 2003. DOI 10.1590/S1516-35982003000100024. Disponível em: [https://www.rbz.org.br/wp-content/uploads/articles\\_xml/1516-3598-rbz-S1516-35982003000100024/1516-3598-rbz-S1516-35982003000100024.pdf](https://www.rbz.org.br/wp-content/uploads/articles_xml/1516-3598-rbz-S1516-35982003000100024/1516-3598-rbz-S1516-35982003000100024.pdf). Acesso em: 20 jan. 2020.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 160 p.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 128 p.

FRANÇA, E. M. S. **Contrastes socioambientais na microbacia do riacho Flamengo, Garanhuns-PE**. 2018. 146 f. Dissertação (mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2018.

FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. B.; CHAVES, L. H. G.; LIMA, E. R. V. Detecção de Mudança da Vegetação de Caatinga. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife, v. 05, n. 06, p. 1473-1487, dez. 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/232834>. Acesso em: 15 jun. 2020.

FRANK, A. U. Map algebra extended with functors for temporal data. In: AKOKA, J.; LIDDLE, S. W.; IL-YEOL, C.; BERTOLOTTO, M.; COMYN-WATTIAU, I.; HEUVEL, W. J. V. D.; KOLP, M.; TRUJILLO, J.; KOP, C.; MAYR, H. C. (Org.). **Perspectives in conceptual modeling**. Heidelberg/Berlin: Springer-Verlag, 2005, pp. 194-207.

GIL, A. C. **Método e técnicas de pesquisa social**. ed. 6. São Paulo: Atlas, 2008. 200 p.

GÓMEZ OREA, D.; GÓMEZ, V. A. Ordenamiento territorial: una aproximación conceptual y su aplicación al Cantón Cuenca - Ecuador. **Revista de la Universidad del Azuay**, Cuenca-EC. n. 57, p. 28-88, abr. 2012.

GÓMEZ, V. A. El paisaje y su consideración en la planificación del desarrollo y el ordenamiento territorial. Aplicación al pdot del Cantón Cuenca. **Revista de la Universidad del Azuay**, Cuenca- EC. n. 57, p. p. 28-88, abr. 2012.

GONÇALVES, D. L.; BARBOSA, L. G.; PASSOS, M. M. Análise da estrutura vegetal a partir da representação cartográfica com o uso de pirâmides de vegetação. In: Encontro Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia, 11., 2015, Presidente Prudente. **Anais [...]**.Presidente Prudente-SP: UNESP, 2015. Disponível em: <http://www.enanpege.ggf.br/2015/anais/arquivos/15/445.pdf><http://www.enanpege.ggf.br/2019>. Acesso em: 15 dez. 2018.

GONÇALVES, D. L.; PASSOS, M. M. Análise da cobertura vegetal no varjão do rio Paranapanema, município de Rosana-SP: um estudo para a criação de um corredor ecológico. In: Encontro Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia, 12., 2017, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: USP, 2017. Disponível em: <http://www.enanpege.ggf.br/2017/anais/arquivos/GT%2005/1226.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2019.

GONZALEZ, R. A.; ANDREOLI, R. V.; CANDIDO, L. A.; KAYANO, M. T.; SOUZA, R. A. F. A influência do evento El Niño – Oscilação Sul e Atlântico Equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul. **ACTA AMAZONICA**, Manaus-AM, v. 43, n. 4, p.469-480, dez. 2013. DOI 10.1590/S0044-59672013000400009. Disponível em: <https://acta.inpa.gov.br/fasciculos/43-4/PDF/v43n4a09.pdf>. Acesso em: 20 set. 2018.

GORDON, J. E.; BRAZIER, V.; THOMPSON, D. B..A.; HORSFIELD, D. Geo-ecology and the conservation management of sensitive upland landscapes in Scotland. **Catena**, Amsterdam-Holland, v. 42, n. 2-4, p. 323-332, jan. 2001. DOI 10.1016/S0341-8162(00)00144-2. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(00\)00144-2](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00144-2). Acesso em: 15 jul. 2018.

GOTELLI, N. J.; COLWELL, R. K. Estimating species richness. In: MAGURRAN, A. E.; MCGILL, B. J (org.). **Biological diversity: frontiers in measurement and assessment**. New York: Oxford University Press, 2011. cap. 04, p. 39-54.

GOTELLI, N. J.; ANDERSON, M. J.; ARITA, H. T.; CHAO, A.; COLWELL, R. K.; CONNOLLY, S. R.; CURRIE, D. J.; DUNN, R. R.; GRAVES, G. R.; GREEN, J. L.; GRYTNES, J.; JIANG, Y.; JETZ, W.; LYONS, S. K.; MCCAIN, C. M.; MAGURRAN, A. E.; RAHBK, C.; RANGEL, T. F..L..V. B.; SOBERÓN, J.; WEBB, C. O.; WILLIG, M. R. Patterns and causes of species richness: a general simulation model for macroecology. **Ecology Letters**, Oxford-England, v. 12, n. 9, p. 873-886, aug. 2009. DOI 10.1111/j.1461-0248.2009.01353.x. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01353.x>. Acesso em: 31 jul. 2020.

GOTTMANN, J. A evolução do conceito de território. **Boletim Campineiro de Geografia**, Campinas-SP, v. 2, n. 3, 2012. Disponível em: <http://agbcampinas.com.br/bcg/index.php/boletim-campineiro/article/view/86>. Acesso em: 05 jun. 2018.

GUEDES, J. C. F.; MEDEIROS, A. D.; COSTA, D. F. S. Estratégia de zoneamento ambiental aplicada a caracterização ambiental de bacias hidrográficas do semiárido brasileiro: estudo de caso na microbacia do Rio Barra Nova – RN/PB. **Revista de Geociências do Nordeste**, Caicó-RN, v. 2, n. Especial, p. 1011-1024, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/10564>. Acesso em: 05 abr. 2021.

GUERRA, A. J. T. **Dicionário geológico geomorfológico**. 8. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993. 446 p.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia ambiental**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. 189 p.

GUTIÉRREZ, A. P. A.; ENGLE, N. L.; DE NYS, E.; MOLEJÓN, C.; MARTINS, E. S. Drought preparedness in Brazil. **Weather and Climate Extremes**, Amsterdam-Holland, v. 3, p. 95-106, jun. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2013.12.001>. Acesso em: 29 nov. 2018.

HAESBAERT, R. Território e multiterritorialidade: um debate. **GEOgraphia**, Niterói-RJ, v. 09, n. 17, p. 19-46, fev. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.22409/GEOgraphia2007.v9i17.a13531>. Acesso em: 15 maio, 2018.

HAESBAERT, R. **O mito da desterritorialização**: do "fim dos territórios" a multi-territorialidade. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 395 p.

HAESBAERT, R.; RAMOS, T. T. O mito da desterritorialização econômica. **GEOgraphia**, Niterói-RJ, v. 6, n.12, p. 25-48, dez. 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.22409/GEOgraphia2004.v6i12.a13478>. Acesso em: 17 maio, 2018.

HAINES-YOUNG, R. **Report of Results of a Survey to Assess the Use of CICES**. Nottingham-UK: Support to EEA tasks under the EU MAES Process, 2016. Disponível em: [https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2016/07/Report-on-Survey-Results\\_19072016\\_Upload.pdf](https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2016/07/Report-on-Survey-Results_19072016_Upload.pdf). Acesso em: 29 set. 2019.

HAINES-YOUNG, R.; POTSCHIN, M. **Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure**. Nottingham-UK: Support to EEA tasks under the EU MAES process, 2018. Disponível em: <https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2018/01/Guidance-V51-01012018.pdf>. Acesso em: 07 set. 2020.

HILL, M. O. Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. **Ecology**, Brooklyn-NY, v. 54, n. 2, p. 427-422, mar. 1973. DOI 10.2307/1934352. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/1934352>. Acesso em: 05 jul. 2020.

HOLANDA, A. C.; LIMA, F. T. D.; SILVA, B. M.; DOURADO, R. G.; ALVES, A. R. Estrutura da vegetação em remanescentes de caatinga com diferentes históricos de perturbação em Cajazeirinhas (PB). **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 142-150, 2015.

HOUET, T.; HUBERT-MOY, L. Modeling and projecting land-use and land-cover changes with Cellular Automaton in considering landscape trajectories: An improvement for simulation of plausible future states. **EARSeL eProceedings**, v.5, n. 1, p.63-76, 2006.



HOUSTON, J. M. Paisaje y síntesis geográfica. **Revista de Geografía**, Barcelona, v. 4, n. 2, p. 133, 140, 1970.

HUGGETT, Richard John. **Geoecology**: an evolutionary approach. London: Routledge, 1995.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro**. 2005. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/info rmacoes-sobre-posicionamento-geodesico/sirgas/16691-projeto-mudanca-do-referencial-geodesico-pmrg.html?=&t=resolucoes-e-legislacao>. Acesso em: 12 de setembro de 2018.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Divisão regional do Brasil em mesorregiões e microrregiões geográficas**. Volume 2 - Tomo 2 – Região Nordeste. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv2269\\_3.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv2269_3.pdf). Acesso em: 17 nov. 2018.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Senso 2010**. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>. Acesso em: 12 set. 2019.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico de geologia. Rio de Janeiro: IBGE, 1998. 306 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv7919.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2018.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de uso da Terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 170 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2018.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Informações ambientais**. Disponível em: [ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/](ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/). Acesso em: 10 de março de 2018.

IMPERATRIZ-FONSECA, V.L; NUNES-SILVA, P. As abelhas, os serviços ecossistêmicos e o código florestal brasileiro. **Biota Neotropica**, Campinas-SP, v. 10, n. 4. 59-62p. out./dez. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1676-06032010000400008>. Acesso em: 22 jan. 2020.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados históricos**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 09 out. 2018.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Catálogo de imagens**. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acesso em: 15 mar. 2018.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Divisão de Geração de Imagens – DGI**. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>. Acesso em: 12 mar. 2018.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **El Niño e La Niña**. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/#>. Acesso em: 24 de março de 2019.

ITCG, Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná. **Glossário de termos geológicos**. Disponível em: [http://www.geoitcg.pr.gov.br/geoitcg/pages/templates/initial\\_public.jsf?windowId=3f0](http://www.geoitcg.pr.gov.br/geoitcg/pages/templates/initial_public.jsf?windowId=3f0). Acesso em: 26 set. 2018.

JANSEN, D. C. Perfil geoecológico da área de proteção ambiental (apa) do Morro da Pedreira e do Parque Nacional (PARNA) da Serra do Cipó / MG. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte-MG, v.24, n.41, p. 67-76, jan./jun. 2014. DOI 10.5752/P.2318-2962.2014v24n41p66. Disponível em: <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2014v24n41p66>. Acesso em: 15 mar. 2018.

JATOBÁ, L; SILVA, A. F. **Estrutura e dinâmica atual de paisagens**. Ananindeua: Itacaiúnas, 2017. E-book. 107 p. Disponível em: <https://editoraitacaiunas.com.br/produto/estrutura-e-dinamica-atual-de-paisagens/>. Acesso em: 23 maio, 2018.

KAMUSOKO, C.; ANIYA, M.; ADI, B.; MANJORO, M. Rural sustainability under threat in Zimbabwe – Simulation of future land use/cover changes in the Bindura district based on the Markov-cellular automata model. **Applied Geography**, Sevenoaks-England v. 29, n. 03, p. 435-447, jul. 2009. DOI 10.1016/j.apgeog.2008.10.002. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2008.10.002>. Acesso em: 01 mar. 2020.

KAYANO, M. T. E ANDREOLI, R. V. Clima da região Nordeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA, N.J.; SILVA, M.G.A.J.; SILVA DIAS, M.A.F. **Tempo e clima do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. cap. 14, p. 213-133.

KEVAN, P. G; VIANA, B. F. The global decline of pollination services. **Biodiversity**. Nepean-Ont, v. 4, n. 4 p.3-8, dec. 2003. DOI 10.1080/14888386.2003.9712703. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14888386.2003.9712703>. Acesso em: 12 jan. 2020.

KERR, W. E. A importância da meliponicultura para o país. **Revista Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, Anápolis-GO, v.1, n.01, p.42-44. 1997.

KOCABAS, V.; DRAGICEVIC, S. Assessing cellular automata model behaviour using a sensitivity analysis approach. **Computers, Environment and Urban Systems**, New York-US, v. 30, n. 06, p. 921-953, nov. 2006. DOI 10.1016/j.compenvurbsys.2006.01.001. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2006.01.001>. Acesso em: 03 fev. 2020.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, London- England, v. 33, n. 01, p.159-174, mar. 1977. DOI 10.2307/2529310. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2529310>. Acesso em: 19 jun. 2020.

LANG, S.; BLASCHKE, T. Análise da paisagem com SIG. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 423 p.

LENTSWE, G. B.; MOLWALEFHE, L. Delineation of potential groundwater recharge zones using analytic hierarchy process-guided GIS in the semi-arid Motloutse watershed, eastern Botswana. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, Amsterdam-Holland, v. 28, p. 1-22, apr. 2020. DOI 10.1016/j.ejrh.2020.100674. Disponível em: Acesso em: 20 maio 2020.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 216 p.

LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 456 p.

LIANG, X.; LIU, X.; LI, D.; ZHAO, H.; CHEN, G. Urban growth simulation by incorporating planning policies into a CA-based future landuse simulation model. **International Journal of Geographical Information Science**, London- England, v. 32, n. 11, aug. 2018. DOI 10.1080/13658816.2018.1502441. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13658816.2018.1502441>. Acesso em: 14 jun. 2020

LIBAULT, A. **Os quatro níveis da pesquisa geográfica**. São Paulo: Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, 1971. 14 p.

LINS, F. A. C.; ARAÚJO, D. C. S.; SILVA, J. L. B.; LOPES, P. M. O.; OLIVEIRA, J. D. A.; SILVA, A. T. C. S. G. Estimativa de parâmetros biofísicos e evapotranspiração real no semiárido pernambucano utilizando sensoriamento remoto. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 64-75, fev. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.15809/irriga.2017v1n1p64-75>. Acesso em: 20 abr. 2021.

LUCENA, R. F. P.; SOARES, T. C.; VASCONCELOS NETO, C. F.A.; CARVALHO, T. K. N.; LUCENA, C. M.; ALVES, R. R. N. Uso de recursos vegetais da Caatinga em uma comunidade rural no Curimataú Paraibano (nordeste do Brasil). **Polibotânica**, n. 34, p. 237-258, ago. 2012. Disponível em: <https://www.polibotanica.mx/ojs/index.php/polibotanica/article/view/884>. Acesso em: 12 fev. 2020.

MACHADO, P. J. O.; TORRES, F. P. **Introdução à hidrogeografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012. 192 p.

MAGURRAN, A. E. **Ecological diversity and its measurement**. New Jersey: Princeton University Press, 1988. 179 p.

MAGURRAN, A. E. **Measuring biological diversity**. Oxford: Blackwell Science Ltd, 2004. 256 p.

MAIA-SILVA, C.; SILVA, C. I.; HRNCIR, M.; QUEIROZ, R. T.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. **Guia de plantas visitadas por abelhas na Caatinga**. Fortaleza-CE: Ed Fundação Brasil Cidadão, 2012. 195 p.

MANOSSO, F. C. **O estudo da paisagem no município de Apucarana-PR: as relações entre a estrutura geoecológica e a organização do espaço**. 2005. 114 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005.

MANOSSO, F. C. **Potencialidades da paisagem na região da serra do Cadeado-PR: abordagem metodológica das relações entre a estrutura geoecológica, a geodiversidade e o geoturismo**. 2012, 183 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

MANOSSO, F. C. NÓBREGA, M. T. A estrutura geoecológica da paisagem como subsídio a análise geoambiental no município de Apucarana-PR. **Revista Geografar**, Curitiba/PR, v.3,

n.2, p.86-116, jul./dez. 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/geografar.v3i2.13579>. Acesso em: 20 set. 2017.

MARACAJÁ, P. B.; BATISTA, C. H. F.; SOUSA, A. H.; VASCONCELOS, W. E. Levantamento florístico e fitossociológico do extrato arbustivo- arbóreo de dois ambientes na Vila Santa Catarina, Serra do Mel, RN. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, São Cristóvão-SE v. 3, n. 2 p. 1-13, jul./dez. 2003. Disponível em: <http://joaootavio.com.br/bioterra/workspace/uploads/artigos/floristico-51560d615ef42.pdf>. Acesso em: 07 set. 2020.

MARANGON, G. P.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; LIRA, D. F. S.; SILVA, E. A.; LOUREIRO, G. H. Estrutura e padrão espacial da vegetação em uma área de caatinga. **Revista Floresta**, Curitiba/PR v. 43, n. 1, p. 83-92, jan./mar. 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v43i1.27807>. Acesso em: 05 set. 2020.

MARENGO, J. A.; BERNASCONI, M. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. **Climatic Change**, Dordrecht-Holland, v. 129, p. 103-115, dec. 2014. DOI 10.1007/s10584-014-1310-1. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1310-1>. Acesso em: 13 out. 2019.

MARTINELLI, M. **Mapas da geografia e cartografia temática**. 6. ed. São Paulo: Editora Contexto, 2013. 142 p.

MARTINELLI, M. **Mapas, gráficos e redes: elabore você mesmo**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 120 p.

MAS, J. F.; KOLB, M.; HOUET, T.; PAEGELOW, M.; OLMEDO, M. T. C. Éclairer le choix des outils de simulation des changements des modes d'occupation et d'usages des sols: Une approche comparative. **Revue Internationale de Géomatique**, Cachan-France, v. 21, n. 03, p. 405-430, 2011. Disponível em: <https://archives-rig.revuesonline.com/article.jsp?articleId=16568>. Acesso em: 13 mar. 2020.

MAS, J. F.; KOLB, M.; PAEGELOW, M.; OLMEDO, M. T. C.; HOUET, T. Inductive pattern-based land use/cover change models: a comparison of four software packages. **Environmental Modelling & Software**, Oxford-England, v. 51, p. 94-111, jan. 2014. DOI 10.1016/j.envsoft.2013.09.010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.09.010>. Acesso em: 14 mar. 2020.

MAURI, M.; ELLI, T.; CAVIGLIA, G.; UBOLDI, G.; AZZI, M. RAWGraphs: a visualisation platform to create open outputs. In: Biannual Conference on Italian SIGCHI Chapter, 12., 2017, Cagliari, Italy. **anaïs** [...]. Cagliari, Italy, 2017. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3125571.3125585>. Acesso em: 05 nov. 2019.

MCGILL, B. J.; ETIENNE, R. S.; GRAY, J. S.; ALONSO, D.; ANDERSON, M. J.; BENECHA, H. K.; DORNELAS, M.; ENQUIST, B. J.; GREEN, J. L.; HE, F.; HURLBERT, A. H.; MAGURRAN, A. E.; MARQUET, P. A.; MAURER, B. A.; OSTLING, A.; SOYKAN, C. U.; UGLAND, K. I.; WHITE, E. P. Species abundance distributions: moving beyond single prediction theories to integration within an ecological framework. **Ecology Letters**, Oxford-England, v. 10, n. 10, p. 995-1015, aug. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01094.x>. Acesso em: 31 jul. 2020.

MEA, Millennium Ecosystem Assessment. **Global Assessment Reports**. Washington - EUA: Island Press, 2005. Disponível em: <https://www.millenniumassessment.org/en/Global.html>. Acesso em: 17 jan. 2020.

MELO, A. S. O que ganhamos ‘confundindo’ riqueza de espécies e equabilidade em um índice de diversidade?. **Biota Neotropica**, Campinas-SP, v. 8, n. 3, p. 21-27, jul./set. 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/bn/v8n3/v8n3a01.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2020.

MELO, J. A. B. Ordenamento territorial e sustentabilidade: um diálogo possível?. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia-MG, v. 11, n. 33, p. 220-229, maio, 2010. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15930>. Acesso em: 11 abr. 2018.

MELO & SOUZA, R. **Redes de monitoramento socioambiental e tramas da sustentabilidade**. São Paulo: Annablume, 2007. 266 p.

MELO & SOUZA, R.; GIUDICE, D. S. Território e sustentabilidade: conceitos e ideias em debate. In: MELO & SOUZA, R. (Org). **Território, planejamento e sustentabilidade: conceitos e práticas**. São Cristóvão: Editora UFS, 2009. cap. 01, p. 23-35.

MELO & SOUZA, R.; BARBOSA, A. M. F. Reflexões sobre paisagem e território na organização espacial do cerrado piauiense. **Revista de Geografia**, Recife-PE, v. 28, n. 2, p. 6-17, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/228808>. Acesso em: 16 nov. 2017.

MELLO-THERY, N. A. **Território e gestão ambiental na Amazônia: terras públicas e os dilemas do estado**. São Paulo: Anablume, 2011. 200 p.

MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (ndvi) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do riacho dos Cavalos, Crateús-CE. **RA'E GA**, Curitiba, v. 23, p. 520-533, 2011. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/24919>. Acesso em: 31 maio 2020.

MENDES, A. M.; FERREIRA, D. C. A Paisagem em Humboldt e Goethe: a gênese do pensamento geográfico. In: **Encontro Nacional de Geógrafo**, 18., 2016, São Luiz-MA. **Anais [...]**. São Luiz-MA, 2016. p. 1-9. Disponível em: [http://www.eng2016.agb.org.br/resources/anais/7/1468266964\\_ARQUIVO\\_APAISAGEMEMHUMBOLDTEGOETHE.pdf](http://www.eng2016.agb.org.br/resources/anais/7/1468266964_ARQUIVO_APAISAGEMEMHUMBOLDTEGOETHE.pdf). Acesso em: 02 maio 2018.

METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens?. **Biota Neotropica**, Campinas-SP, v. 1, n.1-2, p. 1-9, nov. 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1676-06032001000100006>. Acesso em: 13 jun. 2018.

MEZZOMO, M. M. Caracterização geoecológica do trecho superior da bacia hidrográfica do Rio Mourão-PR: subsídio ao planejamento da paisagem. **Geolingá: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia**, Maringá, v. 5, n. 1, p. 18-38, set. 2013. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/Geolinga/article/view/49199>. Acesso em: 05 abr. 2021.



MEZZOMO, M. M.; GHISSE, K. W.; CAMPOS, D. V. Caracterização geoecológica como subsídio para estudos ambientais em RPPNS: estudos de casos no Paraná. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 38, n. 5, p.907-917, set./out. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rarv/v38n5/v38n5a15.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2018.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Caatinga**. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/biomas/caatinga.html>. Acesso em: 23 abr. 2018.

MOINE, A. Le territoire comme un système complexe - Des outils pour l'aménagement et la géographie. In: Rencontres de Théo Quant, 7., 2005, Besançon-France. **Annales [...]**. Besançon-France: Université de Franche-Comté, 2005. p. 01-11. Disponível em: <http://thema.univ-fcomte.fr/theoq/pdf/2005/TQ2005%20ARTICLE%2017.pdf>. Acesso em: 28 de agosto 2018.

MOINE, A. Le territoire comme un système complexe: un concept opératoire pour l'aménagement et la géographie. **Revue L'Espace Géographique**, Paris-France, v. 35, n. 02, p. 115-132, 2006. Disponível em: <https://www.cairn.info/revue-espace-geographique-2006-2-page-115.htm>. Acesso em: 20 ago. 2018.

MONDAL, S.; SHARMA, N.; GARG, P.K.; KAPPAS, M. Statistical independence test and validation of CA Markov land use land cover (LULC) prediction results. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, Cairo- Egypt, v. 19, n. 2, p. 259-272, dec. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.08.001>. Acesso em: 13 mar. 2020.

MORAES, A. C. R. **Meio ambiente e ciências humanas**. 2. ed. São Paulo: Editora Hucitec, 1994. 100 p.

MORENO, C. E. **Métodos para medir la biodiversidad**. Zaragoza-Espanha: M&T - Manuales y Tesis SEA, 2001. 84 p. Disponível em: <http://entomologia.rediris.es/sea/manytes/metodos.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2020.

MOTA, L. S. O.; MELO & SOUZA, R. Análise geoecológica da paisagem costeira do município de Aracaju/Sergipe. **Ra'eGa**, Curitiba-PR, v. 42, p. 86-103, dez. 2017. DOI 10.5380/raega.v42i0.45923. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v42i0.45923>. Acesso em: 29 out. 2018.

MOTA, L. S. O. Avaliação geoecológica e dos riscos ambientais na paisagem costeira de Aracaju/SE. 2017. 332 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2017.

NASA - National Aeronautics and Space Administration. **NASA, NOAA analyses reveal record-shattering global warm temperatures in 2015**. jan. 2016. Disponível em: <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-noaa-analyses-reveal-record-shattering-global-warm-temperatures-in-2015>. Acesso em: 05 de abril de 2019.

NASCIMENTO, A. M. L.; RAMOS, E. M. N. F.; SILVA, J. S. B. Conhecimento e uso das plantas da Caatinga por agricultores locais moradores de uma comunidade rural do município de Pesqueira, Estado de Pernambuco. **Revista de Ciência, Tecnologia e Humanidades do IFPE**, Recife-PE, v. 01, n. 10, p. 75-91, abr. 2018. Disponível em: <http://revistas.ifpe.edu.br/index.php/cientec/article/view/166>. Acesso em: 29 jan. 2020.

NASCIMENTO, F. R.; FARIAS, J. F. Compartimentação geoambiental como etapa metodológica para detecção e prospecção de áreas susceptíveis à desertificação (ASDS). **GEOgraphia**, v. 18, n. 38, p. 120-140, ago. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.22409/GEOgraphia2016.v18i38.a13776>. Acesso em: 26 mar, 2021.

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. **Cold & Warm Episodes by Season**. Disponível em: [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php). Acesso em: 25 mar. 2018.

PACHECO, J. A. A. **Análise geocológica direcionada ao planejamento e gestão ambiental da província de Sofala - Moçambique**. 2014, 174 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

PASSO, D. P. **Análise da qualidade de classificadores para identificação de alvos urbanos em imagens de alta resolução espacial - uma aplicação com as imagens do satélite WORLDVIEW II**. 2013. 121 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

PASSOS, M. M. Por um estudo da evolução da vegetação - da pirâmide ao NDVI. **Geosul**, Florianópolis-SC, v. 15, n. 30, p 90-110, jan. 2000. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/14256>. Acesso em: 08 set. 2017.

PASSOS, M. M. **Biogeografia e paisagem**. 2 ed. Maringá: [s. n.], 2003. 264 p.

PASSOS, M. M. Das potencialidades à evolução paisagística no noroeste do Paraná: uma aproximação. **Geografia**, Londrina-PR, v. 15, n. 1, p.173-204, jan./jun. 2006. Acesso em: 09 set. 2017. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/6660>. Acesso em: 09 set. 2017.

PASSOS, M. M. A paisagem, uma ferramenta de análise de territórios emergentes na interface entre natureza e sociedade: o vale do Guaporé – Jauru/MT-Brasil. **Cadernos de Geografia**, Coimbra-PT, n. 36, p. 27-45, maio, 2017. DOI 10.14195/0871-1623\_36\_3. Disponível em: [https://doi.org/10.14195/0871-1623\\_36\\_3](https://doi.org/10.14195/0871-1623_36_3). Acesso em: 11 jan. 2018.

PEDRAS, L. R. V. A paisagem em Alexander von Humboldt: o modo descritivo dos quadros da natureza. **REVISTA USP**, São Paulo, n. 46, p. 97-114, jun./ago. 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i46p97-114>. Acesso em: 09 ago. 2018.

PEREIRA, D. S.; MEDEIROS, P. V. Q.; GUERRA, A. M. N. M.; SOUSA, A. H.; MENEZES, P. R. Abelhas nativas encontradas em meliponários no Oeste Potiguar-RN e proposições de seu desaparecimento da natureza. **Revista Verde**, Mossoró-RN. v.1, n.2, p. 54-65, jul./dez. 2006. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/16>. Acesso em: 14 fev. 2020.

PEREIRA, T.; LIMA, S. C. Plano conservacionista para a bacia do córrego dos Bambus, em Grupiara (MG). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 15, n. 17, p. 167-175, fev. 2006. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15280/8580>. Acesso em: 12 abr. 2021.

PERNAMBUCO (Estado). **Divisão político-administrativa e regional**. Disponível em: <http://www.bde.pe.gov.br/site/ConteudoRestrito2.aspx?codGrupoMenu=445 &codPermissao=5>. Acesso em: 12 de novembro de 2018.

PLA, L. Biodiversidad: inferencia basada en el índice de shannon y la riqueza. **Interciencia**, Caracas, v.31 n. 8, ago. 2006. Disponível em: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442006000800008](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442006000800008). Acesso em: 13 de agosto de 2020.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. 2. Ed. São Paulo: Oficina de Testos, 2012. 160 p.

POPPER, K. **The logic of scientific discovery**. London: Routledge Classics, 2002. 513 p.

PRADO, F. A. **Sistema hierárquico de classificação para mapeamento da cobertura da terra nas escalas regional e urbana**. 2009. 168 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas.) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2009.

ODUM, E. P. **Fundamentos de ecologia**. 7. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2004. 823 p.

OLIVEIRA, A. C. C. A. **Cenários biofísicos e ordenamento territorial no litoral Sul de Sergipe**. 2013. 245 f. Tese (doutorado em geografia) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2013.

OLIVEIRA, A. C. C. A.; MELO & SOUZA, R. Cenários biofísicos e ordenamento territorial no litoral Sul de Sergipe-Brasil. **Revista Equador**, Teresina-PI, v. 2, n. 2, p. 62-83, jul./dez. 2013. Disponível em: <https://revistas.ufpi.br/index.php/equador/article/view/1487/1161>. Acesso em: 15 dez. 2019.

OLIVEIRA, A. M. **Serviços ecossistêmicos prestados pela cobertura vegetal na serra de João do Vale (RN/PB)**. 2018. 149 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2019.

OLIVEIRA, A. M.; COSTA, D. F. S. Fitossociologia em encosta de ambiente serrano do semiárido (Serra João do Vale – RN/PB). **Revista Equador**, Teresina-PI, v. 8, n. 2, p.209-222, 2019. Disponível em: <https://revistas.ufpi.br/index.php/equador/article/view/9224/5405>. Acesso em: 05 jul. 2020.

OLIVEIRA, C. S.; MARQUES NETO, R. Importância dos perfis geoecológicos na análise da paisagem: aplicações na bacia hidrográfica do Córrego Grande (Lima Duarte, MG). **Revista de Geografia**, Juiz de Fora–MG, v. 3, n. 1, p. 1-8, maio, 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/geografia/article/view/17931>. Acesso em: 23 ago. 2018.

OLIVEIRA, D. P. R. **Planejamento estratégico: conceitos, metodologia e práticas**. 23. ed. São Paulo: Atlas, 2007. 331 p.

OLIVEIRA, T. H.; GALVÍNCIO, J. D. Uso e cobertura do solo em áreas semiáridas do Nordeste do Brasil. **Revista de Geografia**, Recife-PE, v. 28, n. 1, p. 120-133, abr. 2011.

Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/228940>. Acesso em: 29 ago. 2019.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 425 p.

RAFFESTIN, C. **Por uma geografia do poder**. São Paulo: Editora Ática, 1993. 269 p.

RATZEL, F. O solo, a sociedade e o estado. **Revista do departamento de Geografia**, São Paulo, n. 2, p. 93-101, nov. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.7154/RDG.1983.0002.0008>. Acesso em: 03 set. 2018.

RECH, M. A.; MONGUILHOTT, M.; MIOLA, A. C.; SEBEM, E. Determinação de Modelo Hidrográfico de Escoamento para a Microbacia do Arroio Inhamandá a partir de parâmetros morfométricos das imagens dos sensores Aster e SRTM. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15., 2011, Curitiba-PR. **Anais [...]**. Curitiba-PR, 2011. p. 1341-1348. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.19.17.34/doc/p1098.pdf>. Acesso em: 07 fev. 2017.

RÊGO, S. C. A.; LIMA, P. P. S.; LIMA, M. N. S.; MONTEIRO, T. R. R. Análise comparativa dos índices de vegetação ndvi e savi no município de São Domingos do Cariri-PB. **REVISTA GEONORTE**, v. 3, n. 5, p.1217-1229, jun. 2012. Disponível em: <https://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/2241>. Acesso em: 25 abr. 2021.

RICOTTA, C. Through the jungle of biological diversity. **Acta Biotheoretica**, Leiden-Holland, v. 53, p. 29-38, apr. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10441-005-7001-6>. Acesso em: 13 jul. 2020.

RICOTTA, C. On parametric evenness measures. **Journal of Theoretical Biology**, London-England, v. 222, n. 2, p. 189-197, may, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0022-5193\(03\)00026-2](https://doi.org/10.1016/S0022-5193(03)00026-2). Acesso em: 13 jul. 2020.

RICKETTS, T.; REGETZ, J.; STEFFAN-DEWENTER, I.; CUNNINGHAM, S. A.; KREMEN, C.; BOGDANSKI, A.; GEMMILL-HERREN, B.; GREENLEAF, S. S.; KLEIN, A. M.; MAYFIELD, M. M.; MORANDIN, L. A.; OCHIENG', A.; POTTS, S. G.; VIANA, B. F. Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns?. **Ecology Letters**, Oxford-England, v.11, n.3, p.499-515, feb. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01157.x>. Acesso em: 30 jun. 2020.

RITTER, L. M. O.; MORO, R. S. As bases epistemológicas da ecologia da paisagem. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Gurupi-Tocantins, v. 3, n. 3, p. 58-61, aug. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v3n3.ritter>. Acesso em: 13 set. 2017.

ROCHA, G. C. Uso da geomorfologia no estudo dos solos: algumas considerações. **Geografia**, Londrina-PR, v. 1, n.1, p. 28, 1983. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/9789>. Acesso em: 04 abr. 2017.

RODRIGUES, J. O.; ANDRADE, E. M.; TEIXEIRA, A. S.; SILVA, B. B. Sazonalidade de variáveis biofísicas em regiões semiáridas pelo emprego do sensoriamento remoto. **Eng. Agric.**, Jaboticabal, v.29, n.3, p.452-465, jul./set. 2009.

RODRIGUEZ, M. M.; SILVA, E. V. **Planejamento e gestão ambiental**: subsídios da geoeologia das paisagens e da teoria geossistêmica. 3. ed. Fortaleza: Edições UFC, 2018. 370 p.

RODRIGUEZ, M. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geoeologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. 5. ed. Fortaleza: Edições UFC, 2017. 222 p.

ROGERSON, P. A. **Métodos estatísticos para geografia**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 348 p.

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria-RS, v. 6, n. 01, p.133-137, 1998.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil**: subsídio para o planejamento ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 208 p.

ROSS, J. L. S. PRETTE, M. E. D. Recursos hídricos e as bacias hidrográficas: âncora do planejamento e gestão ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 12, p 89-121, nov. 1998. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/53736>. Acesso em: 19 ago. 2020.

SÁ, I. I. S.; GALVÍNIO, J. D.; MOURA, M. S. B.; SÁ, I. B. Uso do índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN) para caracterização da cobertura vegetal da região do Araripe pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 01 n. 01, mai/ago, p. 28-38 2008. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/232607>. Acesso em: 22 abr. 2018.

SABINO, F. G. S.; CUNHA, M. C. L.; SANTANA, G. M. Estrutura da vegetação em dois fragmentos de caatinga antropizada na Paraíba. **Floresta e Ambiente**, Seropédica-RJ, v. 23, n. 4, P. 487-497, out. /dez. 2016. Disponível em: <https://www.floram.org/article/doi/10.1590/2179-8087.017315>. Acesso em: 04 jul. 2020.

SACK, R. D. Human territoriality: a theory. **Annals of the Association of American Geographers**, Philadelphia-PA, v. 73, n. 1, p. 55-74, mar. 1983. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2569346>. Acesso em 02 set. 2020.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção de processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (org.). **Erosão e conservação dos solos**: conceitos temas e aplicações. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015, p. 229-268. cap. 07, p. 229-267.

SANG, L.; ZHANG, C.; YANG, J.; ZHU, D.; YUN, W. Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA-Markov model. **Mathematical and Computer Modelling**, Oxford-England, v. 54, n. 03-04, p. 938-943, aug. 2011. DOI 10.1016/j.mcm.20



10.11.019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2010.11.019>. Acesso em: 03 abr. 2020.

SANTOS, A. R.; EUGENIO, F. C.; SOARES, V. P.; MOREIRA, M. A.; RIBEIRO, C. A. A. S.; BARROS, K. O. **Sensoriamento remoto no arcgis 10.2.2 passo a passo**: processamento de imagens orbitais. Alegre-ES: CAUFES, 2014. E-book. 107 p. Disponível em: [http://www.mundogeomatica.com.br/Livros/Sensoriamento\\_Remoto\\_ArcGIS1022\\_Processamento\\_Imagens\\_Orbitais/LivroArcGISProcessamentoImagensOrbitais.pdf](http://www.mundogeomatica.com.br/Livros/Sensoriamento_Remoto_ArcGIS1022_Processamento_Imagens_Orbitais/LivroArcGISProcessamentoImagensOrbitais.pdf). Acesso em: 13 jan. 2018.

SANTOS, E. J. (org.) **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Belém do São Francisco, Folha SC.24-X-A, escala 1:250.000**. Brasília: CPRM, 1999. 68 p. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Geologia/Geologia-Basica/Projeto-Belem-do-Sao-Francisco-380.html>. Acesso em: 13 jun. 2018.

SANTOS, F. A.; AQUINO, C. M. S. Análise temporal da cobertura vegetal em trecho do médio curso da bacia do Rio Poti, nordeste do estado do Piauí. **Revista CC&T - Centro de Ciências e Tecnologia da UECE**, Fortaleza/CE, v. 1, n. 1, p. 21-35, jan/jul. 2019. Disponível em: <https://revistas.uece.br/index.php/CCiT/article/view/957>. Acesso em: 25 abr. 2021.

SANTOS, G. C. **Interações geoecológicas nas planícies de marés do litoral centro-sul sergipano**. 2016. 261f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2016.

SANTOS, N. M. **Serviços ecossistêmicos em manguezal**: identificação e mapeamento dos serviços de provisão no manguezal do rio Tijupá, Ilha do Maranhão - MA, Brasil. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

SAQUET, M. A. As diferentes abordagens do território e a apreensão do movimento e da (i)materialidade. **Geosul**, Florianópolis-SC, v. 22, n. 43, p. 55-76, jan. 2007. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/12646>. Acesso em: 22 aug. 2018.

SAQUET, M. A. Por uma abordagem territorial. In: SAQUET, M. A.; SPOSITO, E. S. (org.). **Territórios e territorialidades**: teorias, processos e conflitos. São Paulo: Expressão Popular, 2008. cap. 04, p. 73-94.

SAQUET, M. A. **Abordagens e concepções de território**. 2 ed. São Paulo: Expressão Popular, 2010. 192 p.

SAUER, C. O. A morfologia da paisagem. In: CORRÊA, R. L.; ROSENDAHL, Z (org.). **Paisagem, tempo e cultura**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 1998. cap. 02, p. 12-74.

Seabra, V. S.; Xavier, R. A.; J. Damasceno; Dornellas, P. C. Mapeamento do uso e cobertura do solo da bacia do Rio Taperoá: região semiárida do estado da Paraíba. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 15, n. 50, p. 127–137, Jun/2014.

SENA, L.M.M. **Conheça e conserve a Caatinga - O bioma Caatinga**. v. 01. Fortaleza: Associação Caatinga, 2011. 54 p. Disponível em: [https://www.acaatinga.org.br/wp-content/uploads/Conhe%C3%A7a\\_e\\_Conserve\\_a\\_Caatinga\\_-\\_Volume\\_1\\_\\_O\\_Bioma\\_Caatinga.pdf](https://www.acaatinga.org.br/wp-content/uploads/Conhe%C3%A7a_e_Conserve_a_Caatinga_-_Volume_1__O_Bioma_Caatinga.pdf). Acesso em: 19 fev. 2020.

SENTELHAS, P. C.; PEREIRA A. R.; MARIN, F. R.; ANGELOCCI, L. R.; ALFONSI, R. R.; CARAMORI, P. H.; SWART, S. **BHBRASIL - balanços hídricos climatológicos de 500 localidades brasileiras**. Piracicaba: ESALQ, 1999. CD-ROM.

SILVA, A. M. **Variação da variabilidade espaço-temporal da cobertura do solo e da evapotranspiração utilizando o algoritmo SEBAL automatizado na bacia do Rio Ipanema**. 2017. 73f. Dissertação (mestrado em Geografia) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

SILVA, E. V.; GORAYEB, A.; RODRIGUEZ, J. M. M. Geoecologia das paisagens, cartografia temática e gestão participativa: estratégias de elaboração de planos diretores municipais. In: Seminário Latino Americano de Geografia Física e II Seminário Ibero Americano de Geografia Física, 6., 2010, Coimbra-PT. **Anais [...]**. Coimbra-PT: Universidade de Coimbra, 2010. p. 01-08. Disponível em: <https://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema3/edson>. Acesso em: 13 set. 2018.

SILVA, E. V.; RODRIGUEZ, J. M. M. Geoecologia da paisagem: zoneamento e gestão ambiental em ambientes úmidos e subúmidos. **Revista Geográfica de América Central**, Costa Rica, v. 02, n 47E (EGAL), p. 1-12, 2011. Disponível em: <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/2446>. Acesso em: 01 jun. 2018.

SILVA, D. G.; CORRÊA, A. C. B.; AMORIM, R, F. Caracterização morfológica e dinâmica ambiental das marmitas (weathering pit) no distrito de Fazenda Nova, Pernambuco - Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Curitiba-PR, v. 18, n. 2, p. 349-362, abr./jun. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v18i2.1062>. Acesso em: 25 out, 2018.

SILVA, M. H. S. Pirâmides de vegetação como estratégia metodológica para análise biogeográfica. In: DIAS, L. S.; GUIMARÃES, R. B. (org.). **Biogeografia: conceitos, metodologia e práticas**. Tupã-SP: Editora ANAP, 2016. E-book. cap. 03, p. 51-77. Disponível em: <https://www.amigosdanatureza.org.br/biblioteca/livros/item/cod/139#:~:text=A%20obra%20%22Biogeografia%3A%20conceitos%2C,CAPES%20referente%20ao%20Qualis%20Livro>. Acesso em: 15 maio, 2017.

SILVA, N.; LUCENA., R. F. P.; LIMA, J. R. F.; LIMA, G. D. S.; CARVALHO, T. K. N.; SOUSA JÚNIOR, S. P.; ALVES, C. A. B. Conhecimento e uso da vegetação nativa da Caatinga em uma comunidade rural da Paraíba, Nordeste do Brasil. **Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão**, Santa Teresa-ES, n. 34, p. 05-37, abr. 2014. Disponível em: [http://boletim.sambio.org.br/pdf/34\\_01.pdf](http://boletim.sambio.org.br/pdf/34_01.pdf). Acesso em: 28 jan. 2020.

SILVA, S. O. **Estudo de duas áreas de vegetação da caatinga com diferentes históricos de uso no Agreste Pernambucano**. 2009. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

SILVA, V. P. R. On climate variability in Northeast of Brazil. **Journal of Arid Environments**, London-England, v. 58, n. 4, p. 575-596, sep. 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2003.12.002>. Acesso em: 30 out. 2019.

SILVA, W; PAZ, J. R.L. Abelhas sem ferrão: muito mais do que uma importância econômica. **Natureza on line**, Santa Teresa-ES, v. 10, n. 3, p. 146-152, 2012. Disponível em: <http://www>.

naturezaonline.com.br/natureza/conteudo/pdf/09\_Silva\_Paz\_146152.pdf. Acesso em: 15 dez. 2019.

SILVEIRA, R. W. D; VITTE, A. C. A PAISAGEM EM HUMBOLDT: da instrumentalização do olhar à percepção do cosmos. Encontro de Geógrafos da América Latina, 12., 2009, Montevideu. **Anais** [...]. Montevideu, 2009. Disponível em: <https://geografiacegos.files.wordpress.com/2020/06/paisagem-humboldt-.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2017.

SILVEIRA, R. W. D. **Filosofia, arte e ciência**: a paisagem na geografia de Alexander Von Humboldt. 2012. 487f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. Campinas-SP, 2012.

SILVEIRA, R. W. D. O gênio ródio de Alexander Von Humboldt. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia-MG, v. 27, n.1, p. 7-20, jan./abr. 2015. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/27998>. Acesso em: 20 nov. 2017.

SILVERTOWN, J.; HOLTIER, S.; JOHNSON, J.; DALE, P. Cellular automaton models of interspecific competition for space - the effect of pattern on process. **Journal of Ecology**, Oxford-England, v. 80, n. 03, p. 527-534, sep. 1992. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2260696>. Acesso em: 03 mar. 2020.

SMITH, B.; WILSON, J. B. A consumer's guide to evenness indices. **OIKOS**, Lund-Sweden v. 76, n. 01, p. 70-82, may, 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/3545749>. Acesso em: 13, jul. 2020.

SINGH, S. K.; MUSTAK, S.; SRIVASTAVA, P. K.; SZABÓ, S.; ISLAM, T. Predicting spatial and decadal LULC changes through cellular automata markov chain models using Earth observation datasets and geo-information. **Environmental Processes**, v. 2, p. 61-78, feb. 2015. DOI 10.1007/s40710-015-0062-x. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40710-015-0062-x>. Acesso em: 31 mar. 2020.

SOCHAVA, V. B. Plant communities and the dynamics of natural systems. **Soviet Geography**, Palm Beach-FL, v. 11, n. 8, p. 605-616, 1970. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00385417.1970.10770517>. Acesso em 15, jan. 2018.

SOCHAVA, V. B. Geography and ecology. **Soviet Geography**, Palm Beach-FL, v. 12, n. 5, p. 277-293, 1971. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00385417.1971.10770247>. Acesso em 15, jan. 2018.

SOCHAVA, V. B.; KRAUKLIS, A. A; SNYTKO, V. Atoward a unification of concepts and terms used in integral landscape investigations, **Soviet Geography**, Palm Beach-FL, v. 16, n. 9, p. 616-622, 1975. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00385417.1975.10640099>. Acesso em: 16, jan. 2018.

SOUZA, J. O. P. **Modelos de evolução da dinâmica fluvial em ambiente semiárido – bacia do Riacho do Saco, Serra Talhada, Pernambuco**. 2014. 189 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

SOUZA, J. A. C.; COSTA, M. A.; SOARES FILHO, B. S.; FERREIRA A. L. Análise de medidas de acurácia em processos de classificação baseadas na matriz de confusão. In:

Simpósio Brasileiro de Pesquisas Operacionais, 51., 2019, Limeira-SP. **Anais [...]**. Limeira-SP: UNICAMP, 2019. p. 1-12, 2019. Disponível em: <https://proceedings.science/sbpo-2019/papers/analise-de-medidas-de-acuracia-em-processos-de-classificacao-baseadas-na-matriz-de-confusao-?lang=pt-br>. Acesso em: 03 jul. 2020.

SOUZA, M. L. Território: sobre espaço e poder, autonomia e desenvolvimento. In: CASTRO, I. E.; GOMES, P. C. C.; CORRÊA, R. L. (org.). **Geografia: conceitos e temas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000. cap. 06, p. 165-205.

SOUZA, M. L. **Os conceitos fundamentais** da pesquisa sócio-espacial. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2018. 319 p.

SOUZA, R. J.; PASSOS, M. M. Algumas reflexões sobre o território enquanto condição para a existência da paisagem. **Geingá: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia Maringá**, Maringá-PR, v. 1, n. 1, p. 1-12, maio, 2009. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/Geinga/article/view/49092>. Acesso em: 27 marc, 2018.

SUERTEGARAY, D. M. A. Espaço geográfico uno e múltiplo. **Scripta Nova - Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales**. Barcelona-ES, n. 93, (S/p). jul. 2001. Disponível em: <http://www.ub.edu/geocrit/sn-93.htm>. Acesso em: 25 de setembro 2017.

STANIS E.V.; OSPANOVA A.; KARPUKHINA, E.V. Methods of geoecological zoning using geotechnical cartographic base (through the example of Karaganda Region of Kazakhstan). **Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology**, Amsterdam-Holland, v.1, p. 101-106, aug. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2991/isees-19.2019.21>. Acesso em: 22 mar. 2020.

STEINKE, E., T. **Climatologia fácil**. São Paulo: Oficina de textos, 2012. 144 p.

STEVANUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 366 p.

STRAHLER, Arthur N. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. **Transactions Eos - American Geophysical Union**, Washington-US, v. 38, n. 6, p. 913-920, dec. 1957. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/TR038i006p00913>. Acesso em: 13 out, 2018.

TAKADA, T.; MIYAMOTO, A.; HASEGAWA, S. F. Derivation of a yearly transition probability matrix for land-use dynamics and its applications. **Landscape Ecology**, The Hague- Holland, v. 25, n. 04, p. 561-572, apr. 2010. DOI 10.1007/s10980-009-9433-x. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10980-009-9433-x>. Acesso em: 13 abr. 2020.

TAKEUCHI, K. Landscape Planning Methodology Based on Geoecological Land Evaluation. **GeoJournal**, Dordrecht, v. 07. n. 02, p. 167-183, mar. 1983. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF00185165>. Acesso em: 24 jan. 2018.

TÁVORA, G. S. G. **Contribuição metodológica para identificação e mapeamento das funções geoecológicas: o caso da bacia do Córrego do Pito Aceso, Bom Jardim – RJ**. 2014. 136 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2014.

TEIXEIRA, N. F. F. **Análise geoecológica como subsídio ao planejamento ambiental no município de Tejuçuoca-Ceará**. 2018. 157 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

TOMASELLA, J.; VIEIRA, R. M. S. P.; BARBOSA, A. A.; RODRIGUEZ, D. A.; SANTANA, M. O.; SESTINI, M. F. Desertification trends in the Northeast of Brazil over the period 2000–2016. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. Enschede-Netherlands, v. 73, p. 197-206, dez. 2018. Disponível <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.06.012>. Acesso em 31 maio 2020.

TOMLIN, C. D. Map algebra: one perspective. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 30, n. 1-2, p. 3-12, 1994. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0169-2046\(94\)90063-9](https://doi.org/10.1016/0169-2046(94)90063-9). Acesso em: 14 abr. 2020.

TORRES, J. L. R.; FABIAN, A. J. Levantamento topográfico e caracterização da paisagem para planejamento conservacionista numa microbacia hidrográfica de Uberaba. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia v. 6, n. 19, p. 150-159, out. 2006. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15496>. Acesso em: 20 mar. 2021.

TRAVASSOS, I. S.; SOUZA, B. I. Os negócios da lenha: indústria, desmatamento e desertificação no Cariri paraibano. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, v.18, n.2, p.329-340, set. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2014.84536>. Acesso em: 25 mar. 2019.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, SUPREN, 1977. 97 p.

TRICART, J. Paisagem e ecologia. **Cadernos do I GE06/USP**, São Paulo, p. 01-27, 1981.

TROLL, C. Landschaftsökologie als Geographische-Synoptische Naturbetrachtung. In TRUEBA, J. J. G. (Org). Carl Troll y la geografía del paisaje: Vida, obra y traducción de un texto Fundamental. **Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles**, Sevilla-ES, n. 59, 2012, 189-191. Disponível em: <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/1454>. Acesso em: 16 jul. 2018.

TROPPMAIR, H. **Biogeografia e meio ambiente**. ed. 5. Rio Claro/SP: Divisa, 2002. 195 p.

TRUEBA, J. J. G. Carl Troll y la geografía del paisaje: Vida, obra y traducción de un texto Fundamental. **Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles**, Sevilla-ES, n. 59, p. 173-200, ago. 2012. Disponível em: <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/1454>. Acesso em: 16 jul. 2018.

USGS - United States Geological Survey. **Earth Explorer**. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 02 fev. 2019.

USGS - United States Geological Survey. **Landsat Missions: landsat 8**. 2017. Disponível em: [https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con). Acesso em 16 de março de 2019.



UVO, C. R. B. **A zona de convergência intertropical (ZCIT) sua relação com a precipitação da região norte do Nordeste brasileiro**. 1989. 99 f. Dissertação (mestrado em meteorologia) – Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1989.

VALVERDE, R. R. H. F. Transformações no conceito de território: competição e mobilidade na cidade. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 15, p. 119-126, jun. 2004. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/123877>. Acesso em: 12 ago. 2018.

VARGAS, K. B.; SANTO, T. D.; MIOLA, D. T. B. O uso de pirâmides de vegetação para a representação gráfica da mata ciliar do Córrego Água Pequena, Realeza, PR. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 11, n. 1, p. 47-61, 2015. Disponível em: [https://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum\\_ambiental/article/view/1072](https://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/1072). Acesso em: 16 abr. 2019.

VIEIRA, A. G. T.; TEIXEIRA, G. S. S.; OLIVEIRA, R. F.; SILVA, J. I. S.; ARAÚJO, M. S. L. C. Levantamento da diversidade de angiospermas do vale do riacho São José Caetés, Agreste pernambucano. In: **Congresso Nordestino de Biólogos**, 07., 2017, João Pessoa-PB. **Anais [...]**. João Pessoa-PB: Universidade Federal da Paraíba, 2017, p. 202-209.

VIEIRA, R. M. S. P.; CUNHA, A. P. M. A.; ALVALÁ, R. C. S.; CARVALHO, V. C.; FERRAZ NETO, S.; SESTINI, M. F. Land use and land cover map of a semiarid region of Brazil for meteorological and climatic models. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos-SP, v. 28, n. 2, p. 129-138, jun. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbmet/v28n2/v28n2a02.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2021.

VITTE, A. C. O desenvolvimento do conceito de paisagem e a sua inserção na geografia física. **Mercator**, Fortaleza-CE, v. 6, n. 11, p. 71-78, jan./jun. 2007. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/58>. Acesso em: 28 jul. 2017.

WANG, Y.; ZHANG, X. A dynamic modeling approach to simulating socioeconomic effects on landscape changes. **Ecological Modelling**, Amsterdam-Holland, v. 140, n. 1-2, p. 141-162, may, 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(01\)00262-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(01)00262-9). Acesso em: 19 abr. 2020.

WRINGHT, J. T. C.; SPERS, R. G. O país no futuro: aspectos metodológicos e cenários. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 20, n. 56, p. 13-28, jan./abr. 2006. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10119>. Acesso em: 21 jan. 2018.

ZANI, M. V.; DUARTE, G. S.; CRUZ, C. B. M. Ajustamento geométrico e radiométrico entre imagens Landsat 5 e 8 para apoio de análises temporais. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 17., 2015, João Pessoa-PB. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE 2015, p. 5710-5717.

ZHANG, R.; TANG, C.; MA, S.; YUAN, H.; GAO, L.; FAN, W. Using Markov chains to analyze changes in wetland trends in arid Yinchuan Plain, China. **Mathematical and Computer Modelling**, Oxford-England, v. 54, n. 3-4, p. 924-930, aug. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2010.11.017>. Acesso em: 13 abr. 2020.

---

## APÊNDICES

---

## Apêndice A: Planilha com Coordenadas de Campo da Bacia do Riacho São José-PE

Tabela 33: Planilha com coordenadas de campo para validação cartográfica.

Ponto	X	Y	Z – Cobertura da Terra
1	751021,78	9029198,73	OAN
2	750864,66	9029002,98	AVN
3	750784,09	9028825,21	OAN
4	751354,08	9029039,96	AVN
5	751462,34	9029245,22	AVN
6	751413,89	9029322,35	AVN
7	745041,67	9025116,37	AVN
8	744819,27	9025243,71	AVN
9	745123,46	9025503,13	AVN
10	750323,07	9028932,50	AAA
11	749734,45	9028164,64	AAA
12	749379,46	9028108,39	AVN
13	743926,76	9028365,35	AAA
14	743764,11	9027745,51	AAA
15	743850,70	9027910,95	AVN
16	742335,11	9025448,96	AAA
17	742533,14	9025334,09	AAA
18	742058,49	9024156,74	AVN
19	741723,79	9023384,25	AAA
20	743202,83	9024334,38	AVN
21	733986,30	9027006,22	AVN
22	742658,50	9025336,42	AAA
23	744064,47	9024777,97	AAA
24	743574,88	9027798,87	OAN
25	743763,11	9028092,80	OAN
26	750985,40	9028747,15	AVN
27	755591,02	9030400,11	OAN
28	755405,84	9030616,40	AVN
29	755485,16	9030588,25	OAN
30	749313,60	9026824,10	OAN
31	749028,01	9026109,72	OAN
32	733992,90	9027037,53	AAA
33	742641,86	9025314,79	OAN
34	744136,88	9024822,11	AVN
35	743903,46	9027941,99	OAN
36	750986,91	9028743,45	OAN
37	750396,93	9030584,93	AAA
38	755465,50	9030622,80	OAN
39	750002,44	9028090,18	AVN
40	750786,66	9029953,46	OAN

41	734824,00	9025515,00	AAA
42	737991,00	9024110,00	AVN
43	736568,00	9025166,00	AVN
44	741892,00	9022159,00	OAN
45	748979,00	9030756,00	OAN
46	745593,70	9029939,03	AVN
47	755930,00	9032272,00	OAN
48	752478,00	9032994,00	OAN
49	752530,21	9032723,15	AAA
50	753323,66	9029530,08	AAA

Fonte: A. M. S CHAVES, 2019.

AVN - Áreas de Vegetação Natural

AAA - Áreas Antrópicas Agrícolas

OAN - Outras Áreas

## Apêndice B: Código dos Serviços Ecossistêmicos Identificados no Riacho São José-PE

Quadro 16: Códigos para os serviços ecossistêmicos em áreas de vegetação natural.

<b>Cobertura da Terra</b>	<b>Função Ecológica</b>	<b>Serviços Ecossistêmicos</b>	<b>Impacto Relacionado (positivo-P / Negativo-N)</b>
Área de Vegetação Natural - AVN	Função de Provimento Nutricional - FPn	Plantas Selvagens - SEn1	PN
AVN	FPn	Animais Selvagens – SEn3	PN
AVN	FPn	Animais Criados – SEn4	PN
AVN	FPn	Água de Superfície para beber – SEn5	PP
AVN	FPn	Água subterrânea para beber – SEn6	PP
AVN	Função de Provimento Material - FPM	Fibras e outros materiais de Plantas Selvagens – SEM1	PN
AVN	FPM	Fibras e outros materiais Animais de Selvagens – SEM3	PN
AVN	FPM	Fibras e outros materiais de Animais Criados – SEM4	PN
AVN	FPM	Água de Superfície para não consumo – SEM5	PP
AVN	FPM	Água subterrânea para não consumo – SEM6	PP
AVN	Função de Provimento Material Genético - FPMg	Sementes e esporos – SEg1	PP
AVN	Função de Provimento de Energia - FPe	Plantas Selvagens – SEe1	PN
AVN	FPe	Animais Criados – SEe2	
AVN	Função de Regulação e Manutenção Por Mediação de Resíduos - FRMr	Remediação biológica – SER1	PP
AVN	FRMr	Filtragem, sequestro, armazenamento e acumulação –SER2	PP
AVN	Função de Regulação e Manutenção por Mediação de Perturbação - FRMp	Redução de cheiro SEp1	PP
AVN	FRMp	Atenuação de Ruído- SEp2	PP
AVN	FRMp	Triagem visual – SEp3	PP
AVN	Função de Regulação dos Fluxos de Linha de Base - FRMf	Controle de erosão – SEf1	PP
AVN	FRMf	Tampão e atenuação do movimento de massa – SEf2	PP
AVN	FRMf	Regulação do ciclo hidrológico – SEf3	PP
AVN	FRMf	Proteção contra o vento – SEf4	PP
AVN	FRMf	Por caldeirões Fluxos líquidos – SEf5	PP



AVN	Função de Regulação e Manutenção do Ciclo da Vida - FRMv	Polinização ou dispersão de gametas – SEv1	PP
AVN	FRMv	Dispersão de sementes – SEv2	PP
AVN	Função de Regulação e Manutenção no Controle de Pragas -FRMcP	Controle de pragas – SEcp1	PP
AVN	Função de Regulação e Manutenção do Solo - FRMs	Processo de Intemperismo – SEs1	PP
AVN	FRMs	Processo de decomposição e fixação – SEs2	PP
AVN	Função de Regulação e Manutenção na Composição e Condições Atmosféricas - FRMa	Regulação da temperatura e umidade - SEa	PP
AVN	Funções Culturais de Interações Físicas - FCif	Atividades que promovam saúde, recuperação ou diversão por meio de interações ativas ou imersivas - SEif1	PN
AVN	FCif	Atividades que promovam saúde, recuperação ou prazer através de interações passivas ou observacionais – SEif2	PN
AVN	Funções Culturais de Interações Intelectuais - FCii	Investigação científica ou a criação do conhecimento ecológico tradicional – SEii1	PP
AVN	FCii	Educação e treinamento – SEii2	PP
AVN	FCii	Ressonantes em termos de cultura ou patrimônio – SEii3	PP
AVN	FCii	Experiências estéticas – SEii4	PP
AVN	Funções Culturais de Interações Espirituais - FCie	Elementos de sistemas vivos que têm significado sagrado ou religioso - SEis1	PN
AVN	FCie	Elementos de sistemas vivos usados para entretenimento ou representação – SEie2	PN
AVN	Outras Características que Têm um Valor de Não Uso -FCnu	Sítios de figuras rupestres SEnu1	

Fonte: Equipe interdisciplinar de pesquisadores do Vale Do São José, 2020.

Quadro 17: Códigos para os serviços ecossistêmicos em áreas de antrópicas agrícolas.

<b>Cobertura da Terra</b>	<b>Função Ecológica</b>	<b>Serviços Ecossistêmicos</b>	<b>Impacto Relacionado (positivo-P / Negativo-N)</b>
AAA	Função de Provimento Nutricional - FPN	Plantas Selvagens - SEN1	PN
AAA	FPN	Plantas terrestres cultivadas – SEN2	PN
AAA	FPN	Animais criados – SEN4	PN
AAA	FPN	Água de Superfície para beber – SEN5	PP

AAA	FPn	Água subterrânea para beber – SEEn6	PP
AAA	Função de Provimento Material - FPM	Fibras e outros materiais de Plantas Selvagens – SEM1	PN
AAA	FPM	Fibras e outros materiais de plantas cultivadas- SEM2	PN
AAA	FPM	Fibras e outros materiais de Animais Criados – SEM4	PN
AAA	FPM	Água de Superfície para não consumo – SEM5	PP
AAA	FPM	Água subterrânea para não consumo – SEM6	PP
AAA	Função de Provimento Material Genético - FPMg	Sementes e esporos – SEg1	PP
	FPMg	Plantas superiores e inferiores – SEg2	PP
	Função de Provimento de Energia – FPe	Plantas selvagens – SEe1	NN
AAA	FPe	Animais Criados – SEe2	PN
AAA	FPe	Energia Eólica – SEe3	
AAA	Função de Regulação e Manutenção Por Mediação de Resíduos - FRMr	Remediação biológica – Ser1	PP
AAA	FRMr	Filtragem, sequestro, armazenamento e acumulação – Ser2	PP
AAA	Função de Regulação e Manutenção por Mediação de Perturbação - FRMp	Redução de cheiro SEp1	PP
AAA	FRMp	Triagem visual – SEp3	PP
AAA	Função de Regulação dos Fluxos de Linha de Base - FRMf	Controle de erosão – SEf1	PP
AAA	FRMf	Tampão e atenuação do movimento de massa – SEf2	PP
AAA	FRMf	Regulação do ciclo hidrológico – SEf3	PP
AAA	FRMf	Proteção contra o vento – SEf4	PP
AAA	FRMf	Fluxos líquidos por caldeirões – SEf5	PP
AAA	Função de Regulação e Manutenção do Ciclo da Vida - FRMv	Polinização ou dispersão de gametas – SEv1	PP
AAA	FRMv	Dispersão de sementes – SEv2	PP
AAA	FRMv	Manutenção de populações e habitats de viveiros – SEv3	PP
AAA	Função de Regulação e Manutenção no Controle de Pragas -FRMcP	Controle de pragas – SEcp1	PP
AAA	Função de Regulação e Manutenção do Solo - FRMs	Processo de Intemperismo – SEs1	PP
AAA	FRMs	Processo de decomposição e fixação – SEs2	PP

AAA	Função de Regulação e Manutenção na Composição e Condições Atmosféricas - FRMa	Regulação da temperatura e umidade SEa1	PP
AAA	Funções Culturais de Interações Físicas - FCif	Atividades que promovam saúde, recuperação ou diversão por meio de interações ativas ou imersivas - SEif1	PN
AAA	Funções Culturais de Interações Intelectuais - FCii	Investigação científica ou a criação do conhecimento ecológico tradicional – SEii1	PP
AAA	FCii	Educação e treinamento – SEii2	PP
AAA	FCii	Ressonantes em termos de cultura ou patrimônio – SEii3	PN
AAA	Funções Culturais de Interações Espirituais - FCie	Elementos de sistemas vivos que têm significado sagrado ou religioso - SEie1	PN
AAA	FCie	Elementos de sistemas vivos usados para entretenimento ou representação – SEie2	PN

Fonte: Equipe interdisciplinar de pesquisadores do Vale Do São José, 2020.

Quadro 18: Códigos para os serviços ecossistêmicos em outras áreas não identificada.

<b>Cobertura da Terra</b>	<b>Função Ecológica</b>	<b>Serviços Ecossistêmicos</b>	<b>Impacto Relacionado (positivo-P / Negativo-N)</b>
OAN	Função de Provimento Material - FPM	Fibras e outros materiais de plantas Selvagens- SEM1	PN
OAN	FPM	Água de Superfície para não consumo – SEM5	PP
OAN	Função de Provimento de Energia - FPe	Energia Eólica –SEe3	PN
OAN	Manutenção do ciclo da vida - FRMv	Polinização ou dispersão de gametas – SEv1	PP
OAN	Função de Regulação e Manutenção do Ciclo da Vida FRMv	Dispersão de sementes – SEv2	PP
OAN	Função de Regulação dos Fluxos de Linha de Base - FRMf	Fluxos líquidos por caldeirões – SEf4	PP
OAN	Funções Culturais de Interações Físicas - FCif	Atividades que promovam saúde, recuperação ou diversão por meio de interações ativas ou imersivas - SEif1	PN
OAN	FCif	Atividades que promovam saúde, recuperação ou prazer através de interações passivas ou observacionais – SEif2	PN
OAN	Funções Culturais de Interações Intelectuais - FCii	Investigação científica ou a criação do conhecimento ecológico tradicional – SEii1	PP

Fonte: Equipe interdisciplinar de pesquisadores do Vale Do São José, 2020.

Quadro19: Códigos para os serviços ecossistêmicos da água.

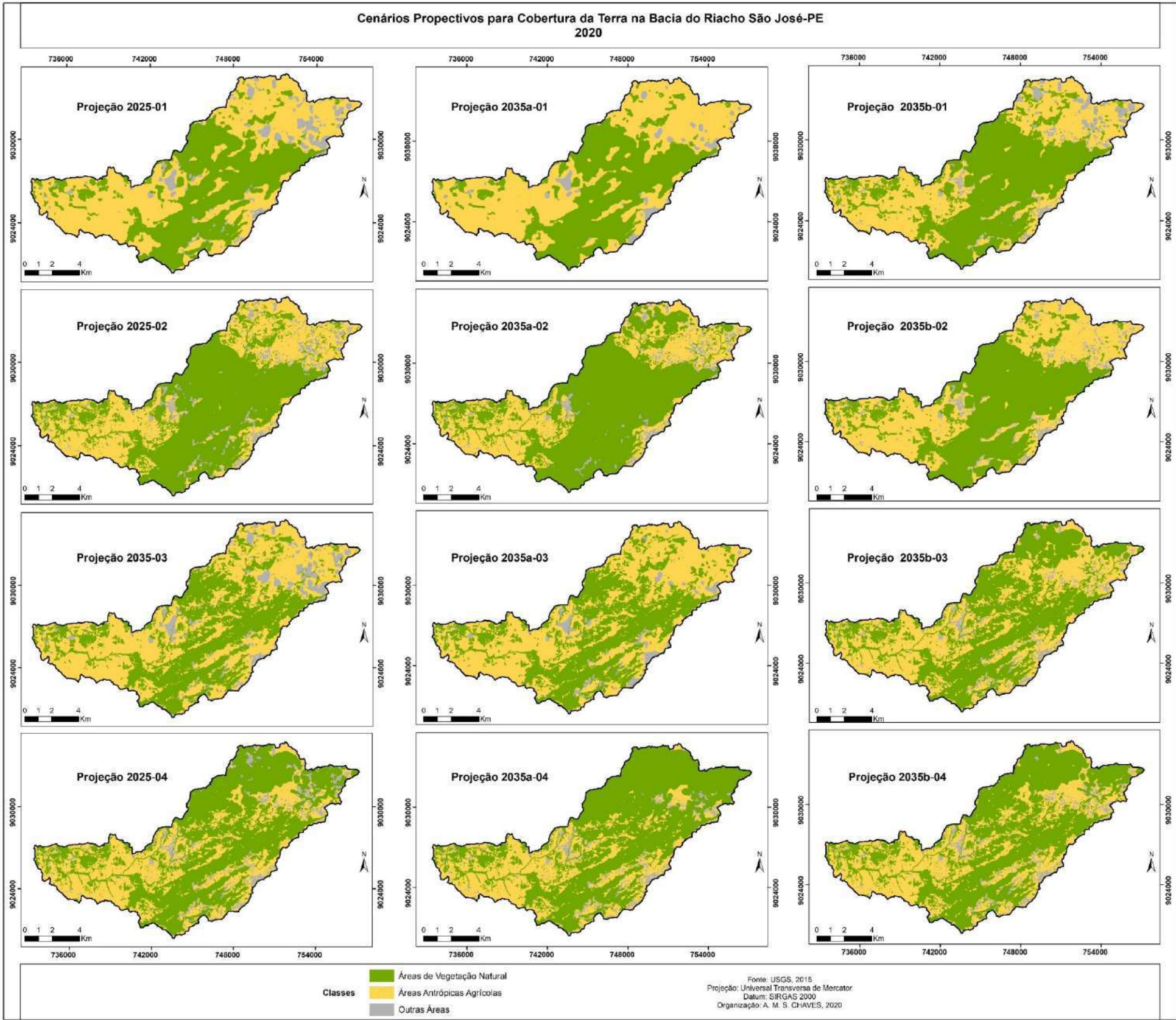
<b>Cobertura da Terra</b>	<b>Função Ecológica</b>	<b>Serviços Ecosistêmicos</b>	<b>Impacto Relacionado (positivo-P / Negativo-N)</b>
AGU	Função de Provimento Nutricional - FPn	Animais criados na aquicultura – SEa1	PN
AGU	FPn	Animais Selvagens – SEa3	PN
AGU	FPn	Água de Superfície para beber – SEa5	PP
AGU	Função de Provimento Material - FPM	Água de Superfície para não consumo – SEM5	PP
AGU	Função de Provimento Material Aquático -FPma	Fibras e outros materiais de Animais criados na aquicultura SEa1	PN
AGU	FRM das condições da água - FRMag	Regulação da condição química de águas doces por processos vivos – SEag1	PP
AGU	Função de Regulação e Manutenção Por Mediação de Resíduos - FRMr	Filtragem, sequestro, armazenamento e acumulação – SEr2	PP
AGU	Função de Regulação dos Fluxos de Linha de Base - FRMf	Regulação do ciclo hidrológico – SEf2	PP
AGU	Função de Regulação e Manutenção do Ciclo da Vida - FRMv	Dispersão de sementes – SEv2	FRMv
AGU	Função de Regulação e Manutenção na Composição e Condições Atmosféricas - FRMa	Regulação da temperatura e umidade – SEa1	
AGU	Funções Culturais de Interações Físicas - FCif	Atividades que promovam saúde, recuperação ou diversão por meio de interações ativas ou imersivas - SEif1	PN
AGU	Funções Culturais de Interações Intelectuais - FCii	Investigação científica ou a criação do conhecimento ecológico tradicional – SEii1	PP

Fonte: Equipe interdisciplinar de pesquisadores do Vale Do São José, 2020.



Apêndice C: Projeções Feitas com Mapas de Adequação para Bacia do Riacho São José-PE

Figura 113: Conjuntos de cenários projetados a partir dos mapas de adequação



Fonte: A. M. S. CHAVES, 2020.



---

## **ANEXOS**

---

## Anexo A: Dados do Balanço Hídrico da Bacia do Riacho São José-PE

Tabela 34: Dados mensais para o balanço hídrico da bacia do Riacho São José-PE.

Precipitação Total - mm						Temperatura Média - °C					
Anos	Meses	Garanhuns	Capoeira	Pedra	Média	Anos	Meses	Garanhuns	Capoeira	Pedra	Média
2004	1	191,80	334,26	534,81	353,62	2004	1	23,66	24,40	25,10	24,39
	2	115,80	146,52	147,12	136,48		2	23,12	23,47	23,95	23,51
	3	62,30	79,44	81,66	74,47		3	23,19	23,60	24,65	23,81
	4	59,60	19,32	37,08	38,67		4	22,88	23,37	24,83	23,69
	5	81,50	7,23	28,29	39,01		5	22,15	22,48	23,63	22,75
	6	247,70	82,35	84,18	138,08		6	20,08	20,53	21,12	20,58
	7	204,50	6,78	0,00	70,43		7	19,63	20,16	20,45	20,08
	8	91,30	48,84	0,00	46,71		8	20,02	20,66	20,79	20,49
	9	113,20	6,99	7,50	42,56		9	20,67	21,62	22,48	21,59
	10	4,30	33,30	0,00	12,53		10	22,16	23,45	24,94	23,52
	11	5,40	51,48	8,46	21,78		11	23,43	24,63	25,83	24,63
	12	6,30	102,45	17,67	42,14		12	24,11	25,21	26,11	25,14
2005	1	19,70	77,28	103,98	66,99	2005	1	24,87	25,47	26,10	25,48
	2	69,00	100,86	67,62	79,16		2	24,61	25,50	26,30	25,47
	3	195,60	297,33	302,88	265,27		3	24,81	25,60	26,23	25,55
	4	49,20	32,97	73,29	51,82		4	23,65	24,33	24,30	24,09
	5	191,90	83,16	82,32	119,13		5	22,11	22,21	23,15	22,49
	6	325,30	115,14	83,64	174,69		6	20,78	21,00	21,75	21,18
	7	125,40	0,00	0,00	41,80		7	20,16	20,23	20,77	20,39
	8	146,60	0,00	0,00	48,87		8	20,18	20,31	20,90	20,46
	9	39,90	14,31	0,00	18,07		9	21,68	21,88	23,05	22,20
	10	2,30	121,32	3,51	42,38		10	23,06	23,34	25,24	23,88
	11	0,40	110,58	11,61	40,86		11	24,35	24,75	26,15	25,08
	12	58,60	129,60	119,85	102,68		12	24,03	24,15	25,24	24,47
2006	1	4,10	64,26	43,83	37,40	2006	1	26,37	26,52	26,10	26,33
	2	37,50	214,83	86,46	112,93		2	25,71	25,77	26,50	25,99
	3	115,80	119,37	210,69	148,62		3	25,73	25,81	26,15	25,90
	4	72,80	94,68	221,49	129,66		4	24,38	24,53	24,72	24,54
	5	148,00	158,82	162,93	156,58		5	23,47	23,65	22,84	23,32
	6	212,90	64,32	31,83	103,02		6	21,02	21,03	21,40	21,15
	7	161,10	6,36	35,76	67,74		7	20,26	20,29	20,81	20,45
	8	88,90	7,35	48,84	48,36		8	21,05	21,18	21,48	21,24
	9	62,70	13,98	6,81	27,83		9	21,82	21,90	23,62	22,45
	10	8,70	35,88	46,92	30,50		10	23,15	23,34	25,31	23,93
	11	36,70	91,02	19,47	49,06		11	24,63	24,77	25,75	25,05
	12	0,30	23,61	6,18	10,03		12	24,92	25,03	26,44	25,46
2007	1	17,80	38,01	18,30	24,70	2007	1	27,95	28,08	28,06	28,03
	2	133,40	198,42	240,75	190,86		2	28,75	28,73	28,61	28,70
	3	79,80	88,14	116,64	94,86		3	24,18	24,32	24,79	24,43

	4	78,20	80,28	82,02	80,17		4	26,45	26,40	26,33	26,39
	5	110,30	24,21	65,49	66,67		5	25,60	25,58	25,37	25,52
	6	194,60	11,94	10,92	72,49		6	24,80	24,78	24,57	24,72
	7	134,60	0,00	6,45	47,02		7	20,51	23,68	23,56	22,58
	8	198,40	25,26	0,00	74,55		8	17,38	23,92	24,06	21,79
	9	102,30	55,44	15,09	57,61		9	19,50	21,12	22,30	20,97
	10	5,10	98,01	3,81	35,64		10	21,58	22,55	24,56	22,90
	11	15,00	44,61	1,95	20,52		11	23,50	23,97	25,82	24,43
	12	8,80	94,65	7,20	36,88		12	23,81	24,87	26,32	25,00
2008	1	2,80	86,82	25,50	38,37	2008	1	24,11	26,76	28,02	26,30
	2	25,80	152,16	230,70	136,22		2	24,60	26,22	28,07	26,30
	3	240,10	586,08	493,83	440,00		3	23,88	24,81	26,55	25,08
	4	70,30	112,05	148,71	110,35		4	23,00	24,27	25,85	24,37
	5	203,90	111,87	196,47	170,75		5	21,30	22,55	24,18	22,68
	6	84,70	15,87	19,92	40,16		6	19,97	21,53	22,90	21,47
	7	144,80	0,00	7,95	50,92		7	19,12	20,19	21,84	20,38
	8	92,90	8,10	0,00	33,67		8	19,75	20,61	22,32	20,89
	9	19,20	6,75	23,28	16,41		9	20,89	21,87	23,43	22,06
	10	17,70	6,99	0,00	8,23		10	21,94	23,06	24,63	23,21
	11	0,00	21,39	2,28	7,89		11	23,85	25,32	26,88	25,35
	12	49,60	58,29	24,03	43,97		12	24,48	25,42	27,00	25,63
2009	1	17,30	106,14	96,15	73,20	2009	1	24,52	25,63	26,69	25,61
	2	61,00	102,21	180,51	114,57		2	23,82	25,18	26,73	25,24
	3	9,00	98,79	106,50	71,43		3	24,44	25,42	27,06	25,64
	4	146,90	257,97	282,51	229,13		4	23,85	24,78	26,47	25,03
	5	165,90	485,85	725,94	459,23		5	22,23	23,47	25,24	23,65
	6	131,30	24,87	42,12	66,10		6	20,93	21,88	23,53	22,11
	7	102,80	0,00	25,56	42,79		7	20,40	21,68	23,19	21,76
	8	153,10	7,59	16,11	58,93		8	20,28	21,02	22,87	21,39
	9	9,90	0,00	15,24	8,38		9	21,99	24,08	25,22	23,76
	10	32,20	38,10	8,34	26,21		10	23,50	23,73	25,26	24,16
	11	15,80	0,00	0,00	5,27		11	23,64	24,35	25,75	24,58
	12	50,00	59,52	87,18	65,57		12	24,04	24,58	25,95	24,86
2010	1	110,00	143,49	261,24	171,58	2010	1	23,46	23,79	25,53	24,26
	2	44,80	139,38	168,06	117,41		2	24,08	24,70	26,59	25,12
	3	119,90	166,77	123,33	136,67		3	24,94	25,81	27,58	26,11
	4	220,70	289,53	294,66	268,30		4	23,75	24,03	25,70	24,49
	5	43,60	0,00	17,64	20,41		5	22,98	23,35	25,21	23,85
	6	427,50	462,48	354,63	414,87		6	20,86	21,65	23,38	21,96
	7	147,50	0,00	18,12	55,21		7	20,07	20,97	22,97	21,34
	8	112,90	0,00	0,00	37,63		8	19,39	20,60	21,95	20,65
	9	123,60	7,20	32,67	54,49		9	20,22	21,73	23,30	21,75
	10	83,70	176,76	240,00	166,82		10	22,70	24,50	26,06	24,42
	11	1,70	0,00	0,00	0,57		11	23,49	24,27	26,40	24,72
	12	10,40	53,19	35,97	33,19		12	24,21	24,52	26,44	25,06

2011	1	64,10	186,15	146,46	132,24	2011	1	23,81	24,11	26,02	24,65
	2	78,80	48,18	171,21	99,40		2	24,14	24,32	26,02	24,83
	3	150,90	51,48	52,83	85,07		3	24,59	25,34	27,03	25,65
	4	120,80	193,35	100,98	138,38		4	23,31	24,12	25,82	24,42
	5	206,60	336,51	354,99	299,37		5	21,28	22,60	24,29	22,72
	6	140,70	0,00	27,06	55,92		6	20,70	22,27	23,22	22,06
	7	208,50	66,54	57,06	110,70		7	19,61	21,08	22,45	21,05
	8	82,60	8,52	0,00	30,37		8	20,17	20,94	22,84	21,32
	9	101,10	0,00	0,00	33,70		9	20,44	21,45	23,13	21,67
	10	13,60	8,79	17,13	13,17		10	22,32	23,40	25,47	23,73
	11	32,10	10,83	12,21	18,38		11	23,06	24,32	26,37	24,58
	12	0,00	7,80	25,23	11,01		12	24,32	25,47	26,90	25,56
2012	1	16,60	102,54	116,01	78,38	2012	1	23,65	24,44	26,52	24,87
	2	24,60	37,32	43,83	35,25		2	23,52	24,48	26,38	24,79
	3	3,80	10,38	13,86	9,35		3	23,86	24,52	26,42	24,93
	4	37,00	4,32	4,62	15,31		4	23,26	23,43	25,32	24,00
	5	64,80	7,59	7,38	26,59		5	22,66	22,35	24,23	23,08
	6	72,70	0,00	0,00	24,23		6	21,02	21,58	23,57	22,06
	7	90,10	11,43	17,55	39,69		7	20,01	20,58	22,52	21,04
	8	115,50	0,00	0,00	38,50		8	19,79	20,52	22,45	20,92
	9	11,00	29,37	0,00	13,46		9	21,34	22,12	24,13	22,53
	10	7,50	7,44	0,00	4,98		10	22,79	25,08	24,84	24,24
	11	1,40	36,12	10,68	16,07		11	24,73	25,47	25,58	25,26
	12	6,00	47,88	20,16	24,68		12	24,61	25,31	26,48	25,47
2013	1	13,60	60,30	59,64	44,51	2013	1	24,83	25,69	26,81	25,78
	2	4,50	0,00	2,16	2,22		2	24,96	26,11	26,55	25,87
	3	14,40	7,74	74,34	32,16		3	25,20	26,21	26,63	26,01
	4	114,50	39,84	73,05	75,80		4	24,40	25,15	25,08	24,88
	5	66,30	87,90	41,94	65,38		5	22,64	23,40	23,52	23,19
	6	117,80	21,51	69,24	69,52		6	21,01	22,68	22,72	22,14
	7	177,50	121,35	188,67	162,51		7	19,98	21,65	21,89	21,17
	8	97,90	0,00	0,00	32,63		8	20,35	21,76	21,94	21,35
	9	21,50	0,00	0,00	7,17		9	21,45	22,93	23,13	22,50
	10	58,80	3,81	4,77	22,46		10	22,56	23,89	25,73	24,06
	11	25,80	80,52	37,41	47,91		11	23,62	24,38	26,48	24,83
	12	74,30	83,61	108,90	88,94		12	23,94	25,18	26,95	25,36
2014	1	13,80	9,84	23,37	15,67	2014	1	23,62	25,31	26,27	25,07
	2	20,90	47,82	30,15	32,96		2	23,94	25,23	25,96	25,04
	3	62,10	65,46	101,31	76,29		3	25,03	25,15	26,73	25,64
	4	152,80	184,74	119,58	152,37		4	23,71	24,30	26,07	24,69
	5	176,50	64,20	61,98	100,89		5	21,64	23,06	25,03	23,24
	6	120,80	0,00	0,00	40,27		6	20,69	22,12	23,98	22,26
	7	144,70	45,09	43,71	77,83		7	20,98	21,45	23,39	21,94
	8	131,30	0,00	0,00	43,77		8	19,74	20,81	23,82	21,46
	9	68,40	0,00	8,10	25,50		9	21,04	21,93	22,33	21,77

	10	173,60	0,00	10,32	61,31		10	21,38	22,87	24,19	22,81
	11	16,10	62,76	60,48	46,45		11	23,14	24,50	26,53	24,72
	12	17,90	67,50	59,40	48,27		12	23,38	24,61	26,50	24,83
2015	1	5,60	46,53	40,17	30,77	2015	1	24,01	25,19	27,02	25,41
	2	71,90	173,91	98,49	114,77		2	23,94	25,50	27,73	25,72
	3	15,90	51,15	158,25	75,10		3	24,26	25,18	27,45	25,63
	4	4,20	40,14	96,00	46,78		4	24,95	24,98	27,08	25,67
	5	40,50	23,22	33,18	32,30		5	23,44	23,21	25,79	24,15
	6	122,80	0,00	9,63	44,14		6	22,00	21,88	24,48	22,79
	7	0,00	9,06	41,88	16,98		7	20,86	21,26	24,06	22,06
	8	74,70	8,85	0,00	27,85		8	20,23	20,10	23,08	21,14
	9	9,00	0,00	0,00	3,00		9	21,73	22,62	25,05	23,13
	10	10,60	0,00	4,53	5,04		10	22,84	23,71	26,06	24,20
	11	0,00	2,22	7,77	3,33		11	24,69	25,25	27,23	25,72
	12	17,60	67,65	104,46	63,24		12	24,33	25,11	26,98	25,47
2016	1	87,80	236,76	226,44	183,67	2016	1	24,23	24,97	27,29	25,50
	2	38,20	107,01	141,33	95,51		2	23,74	24,78	27,12	25,21
	3	33,80	47,46	105,57	62,28		3	24,61	24,97	27,29	25,62
	4	57,60	4,71	22,44	28,25		4	23,43	24,23	26,48	24,71
	5	74,80	57,51	150,57	94,29		5	22,36	23,27	27,29	24,31
	6	53,00	20,76	21,12	31,63		6	21,69	22,67	24,83	23,06
	7	66,00	0,00	0,00	22,00		7	20,31	21,50	23,81	21,87
	8	37,80	0,00	0,00	12,60		8	20,76	21,55	23,66	21,99
	9	12,40	0,40	1,70	4,83		9	22,20	22,78	25,23	23,40
	10	10,20	5,60	8,20	8,00		10	23,54	23,95	26,23	24,57
	11	2,40	0,70	8,50	3,87		11	24,26	24,98	27,37	25,54
	12	2,80	13,50	10,10	8,80		12	24,76	25,27	27,47	25,83
2017	1	5,00	41,00	27,60	24,53	2017	1	24,68	25,19	27,50	25,79
	2	1,80	22,10	21,90	15,27		2	24,90	25,14	27,38	25,81
	3	2,40	25,30	45,80	24,50		3	25,27	25,27	27,53	26,02
	4	48,20	48,20	46,20	47,53		4	24,04	24,33	26,47	24,95
	5	287,60	47,30	43,10	126,00		5	22,41	23,19	25,44	23,68
	6	168,60	3,60	3,30	58,50		6	20,65	21,75	24,05	22,15
	7	243,60	2,90	4,60	83,70		7	18,55	20,03	22,44	20,34
	8	120,80	0,30	1,20	40,77		8	19,93	20,63	23,18	21,25
	9	124,80	0,00	0,00	41,60		9	19,87	21,07	23,62	21,52
	10	16,40	0,70	8,30	8,47		10	21,75	22,76	25,32	23,28
	11	3,60	18,73	17,90	13,41		11	23,59	24,48	26,88	24,98
	12	8,40	35,50	33,57	25,82		12	25,24	25,48	27,66	26,13

Fonte: Agritempo e INMET, 2018. Organização A. M. S. CHAVES, 2018.



## Anexo B: Ficha Biogeográfica Aplicada na Bacia do Riacho São José-PE

Quadro 20: Ficha biogeográfica para construção de pirâmides de vegetação.

Número: _____ Formação Vegetal: _____					
Região Geográfica: _____ Domínio Bioclimático: _____					
Município: _____ Série: _____					
Data: ____/____/____ Longitude: _____ Latitude: _____					
Espécies por Estrato	Nº de Espécies	Altura (m) Aprox.	Espécie		Estrato
			A / D	S	S / Dinâmica
Arbóreo					
Arborescente					
Arbustivo					
Subarbustivo					
Herbáceo-Rasteiro					
Húmus e Serapilheira: _____					
Altitude: _____ Inclinação: _____ Exposição Geográfica: _____					
Clima: _____ Microclima: _____					
Rocha-mãe: _____ Solo: _____					
Erosão: _____					
Ação Antrópica: _____					
Dinâmica de Conjunto: _____					

**Fonte:** BERTRAND, 1966; PASSOS, 2003. Organização A. M. S. CHAVES, 2018.

## INFORMAÇÕES PARA PREENCHIMENTO DAS FICHAS BIOGEOGRÁFICAS

Altura dos diferentes estratos vegetais. Fonte: BERTRAND, 1966.

### Altura Média por Estratos

- 5. Estrato arbóreo.....acima de 7 m.
- 4. Estrato arborescente.....3 - 7 m.
- 3. Estrato arbustivo.....1 - 3 m.
- 2. Estrato subarbustivo.....0,50 - 1 m.
- 1. Herbácea camada de musgo.....0 - 0,50 m.

Percentual de abundância-dominância da vegetação. Fonte: BERTRAND, 1966.

### Percentual de Abundância-Dominância

- 5 - Cobrindo entre 75% à 100%.
- 4 - Cobrindo entre 50% à 75%.
- 3 - Cobrindo entre 25% à 50%.
- 2 - Cobrindo entre 10% à 25%.
- 1 - Planta abundante, porém com valor de cobertura baixo não superando a 10 %.
- + - Alguns raros exemplares.

Modo de Agrupamento da sociabilidade vegetal. Fonte: BERTRAND, 1966.

### Modo de Agrupamento da Sociabilidade

- 5 - População contínua; manchas densas.
- 4 - Crescimento em pequenas colônias; manchas densas pouco extensas.
- 3 - Crescimento em grupos.
- 2 - Agrupados em 2 ou 3.
- 1 - Indivíduos isolados.
- + - Planta rara ou isolada.

Representação da dinâmica da vegetação. Fonte: BERTRAND, 1966.

### Dinâmica dos Estratos

← Progressiva →  
→ Regressiva ←  
= Equilíbrio =

## Anexo C: Tabela CICES Aplicada na Bacia do Riacho São José-PE

Quadro 21: Classificação internacional comum de serviços ecossistêmicos.

CICES V5.1 01/01/2018				
Filter	Section	Division	Group	Class
CICES	Provisioning (Biotic)	Biomass	Cultivated terrestrial plants for nutrition, materials or energy	Cultivated terrestrial plants (including fungi, algae) grown for nutritional purposes
CICES	Provisioning (Biotic)	Biomass	Cultivated terrestrial plants for nutrition, materials or energy	Fibres and other materials from cultivated plants, fungi, algae and bacteria for direct use or processing (excluding genetic materials)
CICES	Provisioning (Biotic)	Biomass	Cultivated terrestrial plants for nutrition, materials or energy	Cultivated plants (including fungi, algae) grown as a source of energy
CICES	Provisioning (Biotic)	Biomass	Cultivated aquatic plants for nutrition, materials or energy	Plants cultivated by in- situ aquaculture grown for nutritional purposes
CICES	Provisioning (Biotic)	Biomass	Cultivated aquatic plants for nutrition, materials or energy	Fibres and other materials from in-situ aquaculture for direct use or processing (excluding genetic materials)
CICES	Provisioning (Biotic)	Biomass	Cultivated aquatic plants for nutrition, materials or energy	Plants cultivated by in- situ aquaculture grown as an energy source
CICES	Provisioning (Biotic)	Biomass	Reared animals for nutrition, materials or energy	Animals reared for nutritional purposes
CICES	Provisioning (Biotic)	Biomass	Reared animals for nutrition, materials or energy	Fibres and other materials from reared animals for direct use or processing (excluding genetic materials)
CICES	Provisioning (Biotic)	Biomass	Reared animals for nutrition, materials or energy	Animals reared to provide energy (including mechanical)
CICES	Provisioning (Biotic)	Biomass	Reared aquatic animals for nutrition, materials or energy	Animals reared by in-situ aquaculture for nutritional purposes
CICES	Provisioning (Biotic)	Biomass	Reared aquatic animals for nutrition, materials or energy	Fibres and other materials from animals grown by in-situ aquaculture for direct use or processing (excluding genetic materials)
CICES	Provisioning (Biotic)	Biomass	Reared aquatic animals for nutrition, materials or energy	Animals reared by in-situ aquaculture as an energy source
CICES	Provisioning (Biotic)	Biomass	Wild plants (terrestrial and aquatic) for nutrition, materials or energy	Wild plants (terrestrial and aquatic, including fungi, algae) used for nutrition
CICES	Provisioning (Biotic)	Biomass	Wild plants (terrestrial and aquatic) for nutrition, materials or energy	Fibres and other materials from wild plants for direct use or processing (excluding genetic materials)
CICES	Provisioning (Biotic)	Biomass	Wild plants (terrestrial and aquatic) for nutrition, materials or energy	Wild plants (terrestrial and aquatic, including fungi, algae) used as a source of energy

<b>CICES</b>	Provisioning (Biotic)	Biomass	Wild animals (terrestrial and aquatic) for nutrition, materials or energy	Wild animals (terrestrial and aquatic) used for nutritional purposes
<b>CICES</b>	Provisioning (Biotic)	Biomass	Wild animals (terrestrial and aquatic) for nutrition, materials or energy	Fibres and other materials from wild animals for direct use or processing (excluding genetic materials)
<b>CICES</b>	Provisioning (Biotic)	Biomass	Wild animals (terrestrial and aquatic) for nutrition, materials or energy	Wild animals (terrestrial and aquatic) used as a source of energy
<b>CICES</b>	Provisioning (Biotic)	Genetic material from all biota (including seed, spore or gamete production)	Genetic material from plants, algae or fungi	Seeds, spores and other plant materials collected for maintaining or establishing a population
<b>CICES</b>	Provisioning (Biotic)	Genetic material from all biota (including seed, spore or gamete production)	Genetic material from plants, algae or fungi	Higher and lower plants (whole organisms) used to breed new strains or varieties
<b>CICES</b>	Provisioning (Biotic)	Genetic material from all biota (including seed, spore or gamete production)	Genetic material from plants, algae or fungi	Individual genes extracted from higher and lower plants for the design and construction of new biological entities
<b>CICES</b>	Provisioning (Biotic)	Genetic material from all biota (including seed, spore or gamete production)	Genetic material from animals	Animal material collected for the purposes of maintaining or establishing a population
<b>CICES</b>	Provisioning (Biotic)	Genetic material from all biota (including seed, spore or gamete production)	Genetic material from animals	Wild animals (whole organisms) used to breed new strains or varieties
<b>CICES</b>	Provisioning (Biotic)	Genetic material from all biota (including seed, spore or gamete production)	Genetic material from organisms	Individual genes extracted from organisms for the design and construction of new biological entities
<b>CICES</b>	Provisioning (Biotic)	Other types of provisioning service from biotic sources	Other	Other
<b>CICES</b>	Regulation & Maintenance (Biotic)	Transformation of biochemical or physical inputs to ecosystems	Mediation of wastes or toxic substances of anthropogenic origin by living processes	Bio-remediation by micro-organisms, algae, plants, and animals
<b>CICES</b>	Regulation & Maintenance (Biotic)	Transformation of biochemical or physical inputs to ecosystems	Mediation of wastes or toxic substances of anthropogenic origin by living processes	Filtration/sequestration/storage/accumulation by micro-organisms, algae, plants, and animals
<b>CICES</b>	Regulation & Maintenance (Biotic)	Transformation of biochemical or physical inputs to ecosystems	Mediation of nuisances of anthropogenic origin	Smell reduction
<b>CICES</b>	Regulation & Maintenance (Biotic)	Transformation of biochemical or physical inputs to ecosystems	Mediation of nuisances of anthropogenic origin	Noise attenuation
<b>CICES</b>	Regulation & Maintenance (Biotic)	Transformation of biochemical or physical inputs to ecosystems	Mediation of nuisances of anthropogenic origin	Visual screening
<b>CICES</b>	Regulation & Maintenance (Biotic)	Regulation of physical, chemical, biological conditions	Regulation of baseline flows and extreme events	Control of erosion rates

<b>CICES</b>	Regulation & Maintenance (Biotic)	Regulation of physical, chemical, biological conditions	Regulation of baseline flows and extreme events	Buffering and attenuation of mass movement
<b>CICES</b>	Regulation & Maintenance (Biotic)	Regulation of physical, chemical, biological conditions	Regulation of baseline flows and extreme events	Hydrological cycle and water flow regulation (Including flood control, and coastal protection)
<b>CICES</b>	Regulation & Maintenance (Biotic)	Regulation of physical, chemical, biological conditions	Regulation of baseline flows and extreme events	Wind protection
<b>CICES</b>	Regulation & Maintenance (Biotic)	Regulation of physical, chemical, biological conditions	Regulation of baseline flows and extreme events	Fire protection
<b>CICES</b>	Regulation & Maintenance (Biotic)	Regulation of physical, chemical, biological conditions	Lifecycle maintenance, habitat and gene pool protection	Pollination (or 'gamete' dispersal in a marine context)
<b>CICES</b>	Regulation & Maintenance (Biotic)	Regulation of physical, chemical, biological conditions	Lifecycle maintenance, habitat and gene pool protection	Seed dispersal
<b>CICES</b>	Regulation & Maintenance (Biotic)	Regulation of physical, chemical, biological conditions	Lifecycle maintenance, habitat and gene pool protection	Maintaining nursery populations and habitats (Including gene pool protection)
<b>CICES</b>	Regulation & Maintenance (Biotic)	Regulation of physical, chemical, biological conditions	Pest and disease control	Pest control (including invasive species)
<b>CICES</b>	Regulation & Maintenance (Biotic)	Regulation of physical, chemical, biological conditions	Pest and disease control	Disease control
<b>CICES</b>	Regulation & Maintenance (Biotic)	Regulation of physical, chemical, biological conditions	Regulation of soil quality	Weathering processes and their effect on soil quality
<b>CICES</b>	Regulation & Maintenance (Biotic)	Regulation of physical, chemical, biological conditions	Regulation of soil quality	Decomposition and fixing processes and their effect on soil quality
<b>CICES</b>	Regulation & Maintenance (Biotic)	Regulation of physical, chemical, biological conditions	Water conditions	Regulation of the chemical condition of freshwaters by living processes
<b>CICES</b>	Regulation & Maintenance (Biotic)	Regulation of physical, chemical, biological conditions	Water conditions	Regulation of the chemical condition of salt waters by living processes
<b>CICES</b>	Regulation & Maintenance (Biotic)	Regulation of physical, chemical, biological conditions	Atmospheric composition and conditions	Regulation of chemical composition of atmosphere and oceans
<b>CICES</b>	Regulation & Maintenance (Biotic)	Regulation of physical, chemical, biological conditions	Atmospheric composition and conditions	Regulation of temperature and humidity, including ventilation and transpiration
<b>CICES</b>	Regulation & Maintenance (Biotic)	Other types of regulation and maintenance service by living processes	Other	Other
<b>CICES</b>	Cultural (Biotic)	Direct, in-situ and outdoor interactions with living systems that depend on presence in the environmental setting	Physical and experiential interactions with natural environment	Characteristics of living systems that enable activities promoting health, recuperation or enjoyment through active or immersive interactions



<b>CICES</b>	Cultural (Biotic)	Direct, in-situ and outdoor interactions with living systems that depend on presence in the environmental setting	Physical and experiential interactions with natural environment	Characteristics of living systems that enable activities promoting health, recuperation or enjoyment through passive or observational interactions
<b>CICES</b>	Cultural (Biotic)	Direct, in-situ and outdoor interactions with living systems that depend on presence in the environmental setting	Intellectual and representative interactions with natural environment	Characteristics of living systems that enable scientific investigation or the creation of traditional ecological knowledge
<b>CICES</b>	Cultural (Biotic)	Direct, in-situ and outdoor interactions with living systems that depend on presence in the environmental setting	Intellectual and representative interactions with natural environment	Characteristics of living systems that enable education and training
<b>CICES</b>	Cultural (Biotic)	Direct, in-situ and outdoor interactions with living systems that depend on presence in the environmental setting	Intellectual and representative interactions with natural environment	Characteristics of living systems that are resonant in terms of culture or heritage
<b>CICES</b>	Cultural (Biotic)	Direct, in-situ and outdoor interactions with living systems that depend on presence in the environmental setting	Intellectual and representative interactions with natural environment	Characteristics of living systems that enable aesthetic experiences
<b>CICES</b>	Cultural (Biotic)	Indirect, remote, often indoor interactions with living systems that do not require presence in the environmental setting	Spiritual, symbolic and other interactions with natural environment	Elements of living systems that have symbolic meaning
<b>CICES</b>	Cultural (Biotic)	Indirect, remote, often indoor interactions with living systems that do not require presence in the environmental setting	Spiritual, symbolic and other interactions with natural environment	Elements of living systems that have sacred or religious meaning
<b>CICES</b>	Cultural (Biotic)	Indirect, remote, often indoor interactions with living systems that do not require presence in the environmental setting	Spiritual, symbolic and other interactions with natural environment	Elements of living systems used for entertainment or representation
<b>CICES</b>	Cultural (Biotic)	Indirect, remote, often indoor interactions with living systems that do not require presence in the environmental setting	Other biotic characteristics that have a non-use value	Characteristics or features of living systems that have an existence value
<b>CICES</b>	Cultural (Biotic)	Indirect, remote, often indoor interactions with living systems that do not require presence in the environmental setting	Other biotic characteristics that have a non-use value	Characteristics or features of living systems that have an option or bequest value

		the environmental setting		
<b>CICES</b>	Cultural (Biotic)	Other characteristics of living systems that have cultural significance	Other	Other
<b>CICES</b>	Provisioning (Abiotic)	Water	Surface water used for nutrition, materials or energy	Surface water for drinking
<b>CICES</b>	Provisioning (Abiotic)	Water	Surface water used for nutrition, materials or energy	Surface water used as a material (non-drinking purposes)
<b>CICES</b>	Provisioning (Abiotic)	Water	Surface water used for nutrition, materials or energy	Freshwater surface water used as an energy source
<b>CICES</b>	Provisioning (Abiotic)	Water	Surface water used for nutrition, materials or energy	Coastal and marine water used as energy source
<b>CICES</b>	Provisioning (Abiotic)	Water	Ground water for used for nutrition, materials or energy	Ground (and subsurface) water for drinking
<b>CICES</b>	Provisioning (Abiotic)	Water	Ground water for used for nutrition, materials or energy	Ground water (and subsurface) used as a material (non-drinking purposes)
<b>CICES</b>	Provisioning (Abiotic)	Water	Ground water for used for nutrition, materials or energy	Ground water (and subsurface) used as an energy source
<b>CICES</b>	Provisioning (Abiotic)	Water	Other aqueous ecosystem outputs	Other
<b>CICES Extended</b>	Provisioning (Abiotic)	Non-aqueous natural abiotic ecosystem outputs	Mineral substances used for nutrition, materials or energy	Mineral substances used for nutritional purposes
<b>CICES Extended</b>	Provisioning (Abiotic)	Non-aqueous natural abiotic ecosystem outputs	Mineral substances used for nutrition, materials or energy	Mineral substances used for material purposes
<b>CICES Extended</b>	Provisioning (Abiotic)	Non-aqueous natural abiotic ecosystem outputs	Mineral substances used for nutrition, materials or energy	Mineral substances used for as an energy source
<b>CICES Extended</b>	Provisioning (Abiotic)	Non-aqueous natural abiotic ecosystem outputs	Non-mineral substances or ecosystem properties used for nutrition, materials or energy	Non-mineral substances or ecosystem properties used for nutritional purposes
<b>CICES Extended</b>	Provisioning (Abiotic)	Non-aqueous natural abiotic ecosystem outputs	Non-mineral substances or ecosystem properties used for nutrition, materials or energy	Non-mineral substances used for materials
<b>CICES Extended</b>	Provisioning (Abiotic)	Non-aqueous natural abiotic ecosystem outputs	Non-mineral substances or ecosystem properties used for nutrition, materials or energy	Wind energy
<b>CICES Extended</b>	Provisioning (Abiotic)	Non-aqueous natural abiotic ecosystem outputs	Non-mineral substances or ecosystem properties used for nutrition, materials or energy	Solar energy
<b>CICES Extended</b>	Provisioning (Abiotic)	Non-aqueous natural abiotic ecosystem outputs	Non-mineral substances or ecosystem properties used for nutrition, materials or energy	Geothermal
<b>CICES Extended</b>	Provisioning (Abiotic)	Non-aqueous natural abiotic ecosystem outputs	Other mineral or non-mineral substances or ecosystem properties used for nutrition, materials or energy	Other
<b>CICES Extended</b>	Regulation & Maintenance (Abiotic)	Transformation of biochemical or physical inputs to ecosystems	Mediation of waste, toxics and other nuisances by non-living processes	Dilution by freshwater and marine ecosystems

<b>CICES Extended</b>	Regulation & Maintenance (Abiotic)	Transformation of biochemical or physical inputs to ecosystems	Mediation of waste, toxics and other nuisances by non-living processes	Dilution by atmosphere
<b>CICES Extended</b>	Regulation & Maintenance (Abiotic)	Transformation of biochemical or physical inputs to ecosystems	Mediation of waste, toxics and other nuisances by non-living processes	Mediation by other chemical or physical means (e.g. via Filtration, sequestration, storage or accumulation)
<b>CICES Extended</b>	Regulation & Maintenance (Abiotic)	Transformation of biochemical or physical inputs to ecosystems	Mediation of nuisances of anthropogenic origin	Mediation of nuisances by abiotic structures or processes
<b>CICES Extended</b>	Regulation & Maintenance (Abiotic)	Regulation of physical, chemical, biological conditions	Regulation of baseline flows and extreme events	Mass flows
<b>CICES Extended</b>	Regulation & Maintenance (Abiotic)	Regulation of physical, chemical, biological conditions	Regulation of baseline flows and extreme events	Liquid flows
<b>CICES Extended</b>	Regulation & Maintenance (Abiotic)	Regulation of physical, chemical, biological conditions	Regulation of baseline flows and extreme events	Gaseous flows
<b>CICES Extended</b>	Regulation & Maintenance (Abiotic)	Regulation of physical, chemical, biological conditions	Maintenance of physical, chemical, abiotic conditions	Maintenance and regulation by inorganic natural chemical and physical processes
<b>CICES Extended</b>	Regulation & Maintenance (Abiotic)	Other type of regulation and maintenance service by abiotic processes	Other	Other
<b>CICES Extended</b>	Cultural (Abiotic)	Direct, in-situ and outdoor interactions with natural physical systems that depend on presence in the environmental setting	Physical and experiential interactions with natural abiotic components of the environment	Natural, abiotic characteristics of nature that enable active or passive physical and experiential interactions
<b>CICES Extended</b>	Cultural (Abiotic)	Direct, in-situ and outdoor interactions with natural physical systems that depend on presence in the environmental setting	Intellectual and representative interactions with abiotic components of the natural environment	Natural, abiotic characteristics of nature that enable intellectual interactions
<b>CICES Extended</b>	Cultural (Abiotic)	Indirect, remote, often indoor interactions with physical systems that do not require presence in the environmental setting	Spiritual, symbolic and other interactions with the abiotic components of the natural environment	Natural, abiotic characteristics of nature that enable spiritual, symbolic and other interactions
<b>CICES Extended</b>	Cultural (Abiotic)	Indirect, remote, often indoor interactions with physical systems that do not require presence in the environmental setting	Other abiotic characteristics that have a non-use value	Natural, abiotic characteristics or features of nature that have either an existence, option or bequest value
<b>CICES Extended</b>	Cultural (Abiotic)	Other abiotic characteristics of nature that have cultural significance	Other	Other

Fonte: CICES, 2018.